МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

Н.А. Очкина

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 38.03.03
«Управление персоналом»

Под общей ред. доктора технических наук,
профессора Г.И. Грейсуха

Пенза 2016

УДК 531.521+537.100+535.100
ББК 22.62+22.313+22.314
О-95

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент С.В. Тертычная (ПГУ);
кандидат физико-математических наук, доцент П.П. Мельниченко (ПГУАС)

Очкина Н.А.

О-95 Концепции современного естествознания. Естественнонаучная картина мира: учеб. пособие по направлению подготовки 38.03.03 «Управление персоналом»/ Н.А. Очкина; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Г.И. Грейсуха. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 196 с.

Рассматривается специфика естественнонаучного познания, его роль в развитии культуры. Рассказывается об основных идеях современной науки и научных теориях XX века.

В конце каждой главы даются вопросы для самоконтроля, помогающие усвоению теоретического материала.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Физика и химия» и предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению подготовки 38.03.03 «Управление персоналом», при изучении дисциплины «Концепции современного естествознания».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2016
© Очкина Н.А., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие разработано в соответствии с программой курса «Концепции современного естествознания» ФГОС ВО третьего поколения для направления подготовки 38.03.03 «Управление персоналом» и имеет целью совершенствование компетенций в процессе овладения знаниями о явлениях природы.

Пособие содержит тринадцать глав, в которых последовательно излагаются основные вопросы, предусмотренные государственными образовательными стандартами для изучения дисциплины «Концепции современного естествознания» в высших учебных заведениях.

Учебное пособие написано на уровне концепций естественнонаучных проблем, т.е. с учетом основополагающих идей и систем взглядов на изучаемые вопросы. При изложении материала использованы научные термины и математические формулы, описывающие фундаментальные законы природы.

Учитывая, что пособие предназначено для студентов гуманитарных направлений, обычно мало знакомых с естествознанием и испытывающих определённые трудности в освоении технических дисциплин, автор попытался сделать изложение материала простым и доступным.

В тексте учебного пособия наиболее важные положения и термины, а также формулировки законов выделены *курсивом*. Это способствует более эффективному усвоению материала студентами. Вопросы для самопроверки, помещённые в конце глав, помогут студентам самостоятельно оценить качество усвоения теоретического материала.

Систематическая работа с пособием способствует формированию у студентов:

знаний специфики гуманитарного и естественнонаучного компонентов культуры, ее связей с особенностями мышления; ключевых особенности стратегии естественнонаучного мышления; сущности трансдисциплинарных идей и важнейших естественнонаучных концепций, определяющих облик современного естествознания;

умений систематизировать естественнонаучные знания в естественнонаучную картину мира как глобальную модель природы, отражающую целостность и многообразие материального мира; самостоятельно работать с учебной, научной и справочной литературой; осуществлять самооценку и самоанализ на основе самопроверки в процессе выполнения заданий;

позволяет *овладеть*: пониманием специфики гуманитарного и естественнонаучного типов познавательной деятельности, необходимости их глубокого внутреннего согласования, интеграции на основе целостного взгляда на окружающий мир; ясным представлением о современной физической и биологической картине мира как системах фундаментальных знаний об основаниях целостности и многообразия природы.

ВВЕДЕНИЕ

Всеобщая связь явлений – наиболее общая закономерность существования мира, представляющая собой результат и проявление универсального взаимодействия всех предметов и явлений и воплощающаяся в качестве научного отражения в единстве и взаимосвязи наук. Она выражает внутреннее единство всех элементов структуры и свойств любой целостной системы, а также бесконечное разнообразие отношений данной системы с другими окружающими её системами или явлениями. Без понимания принципа всеобщей связи не может быть истинного знания.

Естественнонаучная картина мира – система общих научных представлений об окружающей действительности. В основе её построения положены принцип единства природы и принцип единства знания. Общий смысл последнего заключается том, что знание не только бесконечно многообразно, но оно вместе с тем обладает чертами общности и целостности. Если принцип единства природы выступает в качестве общей философской основы построения картины мира, то принцип единства знаний, реализованный в системности представлений о мире, является методологическим инструментом, способом выражения целостности природы.

Система знаний в естественнонаучной картине мира не строится как система равноправных партнеров. В результате неравномерного развития отдельных отраслей знания одна из них всегда выдвигается в качестве ведущей, стимулирующей развитие других. В классической научной картине мира такой ведущей дисциплиной являлась физика с её совершенным теоретическим аппаратом, математической насыщенностью, четкостью принципов и научной строгостью представлений. Эти обстоятельства сделали ее лидером классического естествознания, а методология сведения придала всей научной картине мира явственную физическую окраску.

В соответствии с современным процессом «гуманизации» биологии возрастает её роль в формировании научной картины мира. Обнаруживаются две «горячие точки» в ее развитии. Это – стык биологии и наук о неживой природе, и стык биологии и общественных наук.

Представляется, что с решением вопроса о соотношении социального и биологического научная картина мира отразит мир в виде целостной системы знаний о неживой природе, живой природе и мире социальных отношений.

1. ГУМАНИТАРНАЯ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КУЛЬТУРА

1.1. Культура материальная и духовная. Основные отрасли культуры и их историческое взаимодействие

Термин «культура» (*cultura*) латинского происхождения и первоначально буквально означал возделывание почвы, её культивирование с целью улучшения. Уже в этом первоначальном содержании термина выражена очень важная особенность культуры – заложенное в ней человеческое начало; акцентировано внимание на единстве культуры, человека и его деятельности. В дальнейшем сформировалось более обобщенное представление о культуре. Под культурой стали понимать *сложную систему созданных человечеством материальных и духовных ценностей*.

Каждая из основных отраслей культуры (наука, искусство, религия, философия) характеризуется особой сферой интересов, осуществляется своим познавательным путем, использует специфические для нее познавательные методы, дает свое толкование действительности.

Так, например, из сферы *науки* как отрасли культуры, главной функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности, исключается подход, который не может быть формализован; кроме того, она, как правило, не слишком доверяет интуиции.

Искусство – способ познания действительности через ее творческое отражение, воспроизведение действительности в художественных образах. Оно в основном апеллирует к эмоциям и воображению и не обещает однозначно достоверного знания. Первобытное искусство зародилось и стало развиваться благодаря способности человека улавливать, выделять и воспроизводить различные формы, звуки, движения, обладающие для древнего человека определенной значимостью, ценностью. Оно возникло как необходимая разновидность активной приспособительной деятельности человека, и было первой формой человеческого познания мира. И то, что было не под силу еще не развитому и неоформленному логическому мышлению, отражалось в целостных и конкретных эмоционально-образных формах, нередко содержащих элементы фантазии и мистики. Однако отнюдь не невежество или неразвитость мышления следует считать причиной возникновения искусства, ибо в этом случае с исчезновением причины – т.е. с появлением науки, развивающей логическое мышление, – должно было бы исчезнуть и следствие. Тем не менее, искусство продолжает существовать, поскольку выполняемые им функции не может осуществить ни наука, ни религия, ни философия.

Религия абсолютизирует веру, не принимая иных способов доказательства. Религия отвечает одной из главных потребностей человека – обретению неизменной основы понимания мира и «оправдания» его: меняется окружение человека, развитие науки приводит к смене картины мира, растущий темп жизни заставляет человека усомниться в наличии постоянных реалий и ценностей; и только Бог и религия остаются тихой пристанью, куда человек возвращается из всех своих житейских бурь и застает все прежним, неизменным. Прочно укрепившаяся в средневековье, когда характерный для периода античности познавательный интерес к предметному миру заменился устремлением к миру духовному, религия и в настоящее время по-прежнему востребована человеком, – при всем развитии науки, дающей свое, все более полное объяснение мира и его устройства, – является готовность религии отвечать на вопросы, которых часто избегает наука.

Особой отраслью культуры является *философия* (в переводе с греческого «любовь к мудрости»). Если наука занимается поиском истины, искусство – красотой, религия – добром, то философия формирует знания человека о бытии, о месте человека в мире и его собственном внутреннем мире. Философское знание зародилось на Востоке – в Индии, Китае, Египте, но классической своей формы достигло в Древней Греции. Первой исторической формой философского мышления была натурфилософия, стремящаяся открыть единый источник многообразных природных явлений. В наше время, уже на новом витке знания о мире ученые и философы вновь ищут этот единый источник в виде общего энергетического поля, объединяющего все виды известных физике полей, или единой силы, проявлениями которой являются все действующие в природе силы. По мере развития философских знаний происходил процесс их дифференциации: сначала от философии отделились естественные науки (астрономия, математика, медицина), затем выделились собственно философские дисциплины. Сформировались: онтология (учение о бытии), гносеология (теория познания), логика (наука о формах правильного мышления), этика (наука о нравственности как форме общественного сознания), эстетика (наука о прекрасном и философия искусства). Однако при современной самостоятельности наук философия сохранила за собой роль общей мировоззренческой науки, дающей методологическую основу для исследования самого общего проблемного уровня всех отдельных дисциплин (философия науки, философия права, философские проблемы естествознания и т.д.), объединяющей их обращением к наиболее общим закономерностям, единым для развития природы, общества и человеческого сознания.

При всем различии перечисленных отраслей культуры они являются разными путями поиска единства мира. За различием путей и средств нельзя забывать, что как един источник познания – объективное единство мира,

так едина и природа познавательного устремления человека. Как утверждал К.Э. Циолковский, грядущее человечество не будет пренебрегать никаким познанием, все будет в его руках – « все науки, религии, верования, техника, словом, все возможности, и ничем будущее знание не станет пренебрегать, как пренебрегаем мы – ещё злостные невежды – данными религии, творениями философов, писателей и ученых древности. Даже вера в Перуна и та пригодится. И она будет нужна для создания истинной картины мира».

Многообразную систему современной культуры в зависимости от целей деятельности принято подразделять на две большие и тесно связанные области – материальную культуру и духовную культуру.

Материальная культура является продуктом материального производства. Составные элементы материальной культуры – средства бытия человека и общества: предметы ремесел, производства, удовлетворяющие биологические потребности человека и повышающие уровень комфорта его жизни; орудия труда, техника, коммуникации и строительные сооружения.

Духовная (нематериальная) культура – продукт духовного производства. Она связана с деятельностью, направленной на удовлетворение не материальных, а духовных потребностей человека – в развитии, совершенствовании внутреннего мира человека, его сознания, психологии, мышления, знаний, эмоций, переживаний и др.

Духовная культура включает в себя все то, что не имеет непосредственного материального воплощения, но выражается лишь косвенно в продуктах материальной культуры: языке, идеологии, знаниях, ценностях, обычаях. Элементы, входящие в нематериальную культуру нельзя потрогать руками, но они существуют в нашем сознании и постоянно поддерживаются в процессе взаимодействия.

Таким образом, здание завода или филармонии, новая модель автомобиля или обуви, компьютерное обеспечение производства относятся к предметам материальной культуры; театральный спектакль, музыкальная симфония или религиозная служба – к элементам духовной культуры.

Различие между материальной и духовной культурами связанное с тем, какого рода потребность материальную или духовную предмет культуры удовлетворяет, конечно, существует, но оно не столь прямолинейно и очевидно, как может показаться на первый взгляд.

Например, любое произведение искусства является материальным феноменом, поскольку всегда в чем-то воплощено. Это касается даже музыки, которая выражается в звуках, либо нотной записи: звуки воспроизводятся при помощи музыкальных инструментов, а сама нотная запись так же является явлением культуры. Но, в то же время любое произведение искусства представляет собой выражение определенных смыслов, отра-

жающих ценности и идеологию общества или эпохи либо противостоящих общепринятым ценностям.

1.2. Гуманитарная и естественнонаучная культура. Проблема двух культур

Одной из важнейших форм духовной культуры является наука, как непрерывно развивающая система знаний о природе и обществе. В науке принято различать культуру *естественнонаучную* и *гуманитарную*.

Предметом естественнонаучной культуры является естествознание, направленное на изучение природы, в которой действуют стихийные, независимые от человека процессы, которые он пытается постичь. Знание о природе отчуждено от исследователя, поэтому может постоянно совершенствоваться: на смену одному естествоиспытателю приходит другой. Одни и те же естественнонаучные законы могут открываться различными учеными или синтезировать (включать в себя) несколько различных открытий. Современное естествознание включает множество естественнонаучных отраслей: физику, химию, биологию, физическую химию, биофизику, биохимию, геохимию и др.

При изучении явлений в природе и даже в обществе человек пытается исходить из фактов к законам и закономерностям, опираясь на логические соотношения, а также к теориям и концепциям.

Предметом гуманитарной культуры является гуманитарное (*homo* – человек) знание; знание о человеке. Гуманитарное знание имеет отношение к самому субъекту. Оно включает этику, историю, философию, юриспруденцию, педагогику, искусствоведение и т.п.. Поэтому методы исследования, используемые в области гуманитарного знания существенно отличаются от естественнонаучных и сводятся преимущественно к интерпретациям, толкованиям, сравнениям.

Если естественнонаучные знания представить в виде некоторого круга, то ученый находится за его пределами, поскольку само это знание отчуждено от творца. Представитель же гуманитарного знания находится внутри подобного круга, он связан с этим кругом множеством различных нитей.

В 1959 г. в лекции «Две культуры и научная революция», прочитанной в Кембриджском университете, английский историк и писатель Чарльз Перси Сноу (1905-1980 гг.) одним из первых сформулировал проблему существования двух независимых групп интеллигенции (гуманитариев, обществоведов, людей искусства, с одной стороны, и естествоиспытателей – с другой), практически не общающихся друг с другом и всё более и более не понимающих друг друга. Отмечая факт разрыва между естественнонаучной и гуманитарной культурами в XX в., он указывал на опасность по-

добной тенденции, грозящей гибелью всей человеческой культуре и необходимость срочных мер к их сближению.

Действительно, существуют немалые различия между естественнонаучным и гуманитарным познанием. Естествознание ориентировано на повторяющееся, общее и универсальное, абстрактное; гуманитарное познание – на специальное, конкретное и уникальное, неповторимое. Цель естествознания – описать и объяснить свой объект, ограничить свою зависимость от общественно-исторических факторов и выразить знание с позиций вневременных принципов бытия, выразить не только качественные, но и количественные характеристики объекта. Цель гуманитарных наук – прежде всего, понять свой объект, нейти способы конкретно-исторического, личностного переживания, толкования и содержания объекта познания и своего отношения к нему. В 60-е годы XX в. в массовом сознании эти различия отражались в формах разного рода диспутов между «физиками», ориентированными на строго рационалистические, надличностные каноны естествознания («только физика соль – остальное все ноль» и «лириками», воспитанными на идеалах гуманитарного познания, включающих не только объективное отражение социальных процессов и явлений, но и субъективно-личностное их переживание и толкование.

В проблеме, поставленной Сноу есть два аспекта. Первый связан с закономерностями взаимодействия науки и искусства, второй – с проблемой единства науки.

Сначала рассмотрим первый из них. Научные понятия и художественные образы по-разному отражают мир, но вовсе не исключают друг друга. Ученый должен обладать способностью не толь ко к понятийному, но и к образному творчеству, а значит, обладать тонким художественным вкусом. Многие ученые прекрасно разбираются в искусстве, живописи, литературе, музыке. С другой стороны, художник, деятель искусства творит не произвольные, а типические художественные образы, предполагающие процесс обобщения, познания действительности. Таким образом, познавательный момент органично присущ искусству. Например, выдающийся русский ученый, мыслитель-материалист, М.В. Ломоносов, известный работами в области физики (создал теорию теплоты, изложенную в работе «Размышления о причине тепла и холода, теорию атмосферного электричества, разработал конструкции около 100 физических приборов, в частности вискозиметр, пирометр, анемометр, газовый барометр), химии (экспериментально доказал закон сохранения вещества), астрономии (сконструировал телескоп-рефлектор, при помощи которого наблюдал в 1761 г. прохождение Венеры по диску Солнца, что привело его к открытию атмосферы на этой планете), металлургии, горного дела известен пристрастием к литературному творчеству. Поэтические произведения Ломоносова неоднократно выходили при его жизни как отдельными изданиями (оды, послания,

«Письмо о пользе стекла», трагедии, поэма «Петр Великий» и др.), так и собраниями сочинений, включающими басни, пародии, эпиграммы, стихотворения. Один из титанов Возрождения, итальянский живописец скульптор, Леонардо да Винчи шедевры которого, например «Джоконду», «Тайную вечерю» знают все, оставил после себя рукописи по многим областям знания. Он занимался математикой, гидромеханикой, геологией и физической географией, метеорологией, химией, астрономией, ботаникой, а также анатомией и физиологией человека и животных. Леонардо первым сделал попытку определить силу света в зависимости от расстояния. Кроме того, он занимался музыкой, прекрасно играл на лире и «божественно пел импровизацию». Выдающийся русский композитор П.И. Бородин, известный своими монументальными сочинениями: оперой «Князь Игорь» и Второй симфонией, впоследствии метко названной «Богатырской», увлекающийся игрой на виолончели, флейте, фортепиано известен не меньшей, чем к музыке, страстью к химии. В 1856 г. он окончил Медико-хирургическую академию, в которую поступил, когда ему не было ещё шестнадцати лет, а через два года получил степень доктора медицины.

В системе духовной культуры наука и искусство не исключают, а предполагают и дополняют друг друга там, где речь идет о формировании целостной гармоничной личности, о полноте человеческого мироощущения.

Второй аспект данной проблемы связан с единством науки. 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 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 техники. Единство наук определяется, в конечном счете, материальным единством мира.

Естественнонаучные методы познания все в большей мере используются в общественных и гуманитарных науках. Например, в исторических исследованиях они дают надежную основу для уточнения дат исторических событий, открывают новые возможности для быстрого анализа массы источников, фактов и др. Археологам они позволяют воссоздать значение астрономических знаний в повседневной жизни людей разных эпох, культур, этносов, в разной природно-географической среде, выявить закономерности исторического развития астрономии (археастрономия). Без при-

менения методов естественных наук были бы немыслимы выдающиеся достижения современной науки о происхождении человека и общества.

Во взаимодействии науки и искусства возникают новые виды искусств. Во времена не слишком далеких наших предков возникло кино и радио. В середине прошлого века – телевидение. Сегодня мы являемся свидетелями развития новых глобальных информационных средств.

Искусство в свою очередь также оказывает влияние на рациональное знание, ведет к новым интересным решениям. Возможно, идея создания растра в телевизионных трубках цветных телевизоров и мониторов (миллионы цветов создаются с помощью трех точек – красной, синей и зеленой) была навеяна инженерам художниками-импрессионистами, создавшими пуантилизм (фр. *pointiller* – писать точками) – манеру письма отдельными мазками правильной точечной или прямоугольной формы.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте понятие культуры.
2. Назовите основные отрасли культуры. Охарактеризуйте их.
3. Что называют материальной культурой? Духовной?
4. Опишите характерные признаки естественнонаучной и гуманитарной культур.
5. Раскройте проблему двух культур в науке.

2. СТРУКТУРА И МЕТОДЫ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

2.1. Наука как отрасль духовной культуры

Термин (понятие) наука (*scientia*) – латинского происхождения, что в переводе буквально означает – «знание».

Наука – *это отрасль культуры, ориентированная на получение и систематизацию знаний об объективной реальности, а также разработку форм и механизмов их применения в практической жизни людей.*

Как другим сферам человеческой деятельности, науке присущи специфические черты:

1. *Универсальность* – научные законы действуют во всей Вселенной.
2. *Фрагментарность* – наука изучает различные фрагменты реальности и делится на отдельные дисциплины.
3. *Общезначимость* – научные знания пригодны для всех людей.
4. *Обьективность* – научные знания не зависят от личности ученого, его индивидуальности
5. *Систематичность* – наука имеет определенную структуру, а не является бессвязным набором частей.
6. *Незавершенность* – хотя научное знание безгранично растет, оно не может достичь абсолютной истины, после которой уже нечего будет больше исследовать.
7. *Преемственность и согласованность* – новые знания определенным образом и по определенным правилам соотносятся со старыми знаниями.
8. *Критичность* – готовность поставить под сомнение и пересмотреть свои даже основополагающие результаты.
9. *Достоверность и воспроизводимость* – ничто не принимается на веру, каждый факт, гипотеза, теория проверяются и перепроверяются различными учёными
10. *Внеморальность* – научные истины нейтральны в морально-этическом плане.
11. *Рациональность* – получение знаний на основе рациональных процедур. Составными частями научной рациональности являются: понятийность, логичность, дискурсивность, т.е. способность раскладывать научные утверждения на составные части.
12. *Чувственность* – научные результаты требуют эмпирической проверки с использованием восприятия и только после этого признаются достоверными.

2.2. Отличие науки от других отраслей культуры

Наряду с искусством, религией, философией наука является частью единой духовной культуры. Перечисленные характерные черты науки позволяют отличить её от всех других отраслей культуры.

Наука отличается от *мифологии* тем, что стремится не к объяснению мира в целом, а к формулировке законов развития природы, допускающих эмпирическую проверку.

Наука отличается от *мистики* тем, что стремится не к слиянию с объектом исследования, а к его теоретическому пониманию и воспроизведению.

Наука отличается от *религии* тем, что разум и опора на чувственную реальность имеют в ней большее значение, чем вера.

Наука отличается от *философии* тем, что её выводы допускают эмпирическую проверку и отвечают не на вопрос «почему?», а на вопрос «как, каким образом?».

Наука отличается от *искусства* своей рациональностью, не останавливающейся на уровне образов, а доведенной до уровня теорий.

Наука отличается от *идеологии* тем, что её истины общезначимы и не зависят от интересов определенных слоев общества.

Наука отличается от *техники* тем, что она нацелена не на использование полученных знаний о мире для его преобразования, а на познание мира.

Степень её развития в той или иной стране сегодня в значительной мере определяет место этой страны в мировой цивилизации.

Раскрытие общего, устойчивого, закономерного и необходимого во многих явлениях позволяет науке предсказывать, предвидеть ход событий.

Поэтому **главная формула науки:** *знать, чтобы предвидеть; предвидеть, чтобы действовать со знанием дела.*

2.3. Классификация наук

Современная наука включает около 15 тыс. дисциплин, которые классифицируют на фундаментальные и прикладные.

2.3.1. Фундаментальные науки

Задачей фундаментальных наук является изучение базисных структур природы (мира).

К фундаментальным наукам относятся:

1) *естественные науки*;

2) *гуманитарные науки*;

3) *математические науки*.

Естественные науки – *науки о природе*.

К ним относятся:

физика – наука о наиболее общих свойствах материи и форм её движения;

химия – наука о химических элементах и их соединениях;

биология – наука о живой природе;

генетика – наука о законах наследственности и изменчивости организмов;

космология – наука о строении и эволюции Вселенной;

синергетика – наука о самоорганизации сложных систем, о превращении хаоса в порядок;

систематика – наука о классификации.

Гуманитарные науки изучают сферы духовной и творческой деятельности человека. Их подразделяют на науки об обществе науки и науки о человеческом сознании.

К наукам об обществе относятся:

философия – наука о наиболее общих законах природы, общества и человеческого мышления.

история – наука о прошлом человеческого общества.

право – наука о регулировании общественных отношений;

теология – наука о Боге;

юриспруденция – наука о государстве и праве, которая изучает итоги правового регулирования, способы внедрения изменений в систему и методы взаимодействия с обществом;

экономика – наука о хозяйстве, способах его ведения людьми, отношениях между людьми в процессе производства и обмена товаров;

социология – наука о законах становления, функционирования, развития общества в целом, различных социальных общностей и социальных отношений между ними;

антропология — наука о происхождении и эволюции человека;

педагогика – наука о воспитании и обучении человека;

языкознание – наука о языке, его общественной природе и функциях, его внутренней структуре, о закономерностях его функционирования и исторического развития и классификации конкретных языков;

статистика – наука о методах сбора данных, их обработки и анализа для выявления закономерностей, присущих изучаемому явлению.

К наукам о человеческом сознании относятся:

психология – наука о закономерностях развития и функционирования психической деятельности человека;

логика – наука о законах и операциях правильного мышления;

валеология – наука о здоровье человека.

Математические науки *занимаются исследованием знаковых систем*.

К ним относятся:

математика – наука о количественных отношениях и пространственных формах действительного мира;

геометрия – наука о свойствах геометрических фигур;

алгебра – наука о количественных соотношениях;

информатика – наука о методах и процессах сбора, хранения, обработки, передачи, анализа и оценки информации.

2.3.2. Прикладные науки

Целью прикладных наук является применение результатов фундаментальных наук для решения познавательных и социально-практических проблем.

К прикладным наукам относятся:

1) *технические* науки исследуют технику и явления, связанные с её созданием, развитием и взаимодействием с природой и человеком.

Примерами технических наук являются: космонавтика; металлургия; горное дело; экология; робототехника; энергетика.

2) *медицинские* науки – совокупность эмпирических и теоретических дисциплин, исследующих строение, функции, состояние различных систем человеческого организма и человеческих общностей с точки зрения их нормы и патологии, причины и возникновение различных болезней, их симптомы, проявление, течение и способы лечения, методы профилактики, способствующие снижению риска возникновения определенных болезней, методы сохранения здоровья и продолжительности жизни.

Примерами медицинских наук являются: хирургия; педиатрия; невропатология; генетика; стоматология.

3) *сельскохозяйственные* науки – совокупность наук, изучающих сельскохозяйственное производство.

Примерами сельскохозяйственных наук являются: агрономия; зоотехника; селекция; цветоводство.

2.4. Общие представления о научном познании

Научное познание – *это активное, целенаправленное отражение и воспроизведение действительности в сознании человека*, *результатом которого является новое знание о мире.*

Познание проходит две ступени – *чувственное* и *рациональное* (логическое) познание.

Чувственное познание – низшая ступень – осуществляется в форме *ощущений*, *восприятий* и *представлений*. В нём оказываются задействованными пять органов чувств – зрение, слух, осязание, обоняние и вкус, являющихся орудиями связи человека с внешним миром. Чувственные образы – это единственный источник всех наших знаний о внешнем мире. Но в чувственных образах фиксируется преимущественно внешняя сторона явлений. Чувственное познание осуществляется в форме *ощущений, восприятий, представлений.*

На второй ступени – **рациональном (логическом) познании** – происходит выявление общего, существенного. Основными инструментами здесь выступают *мышление* и *разум*. Выделяя из данных, полученных с

помощью органов чувств, существенное, человек с помощью *понятий, суждений* и *умозаключений* познает закономерности окружающего мира.

Эти ступени процесса познания – чувственная и рациональная – находятся в единстве, переходят друг в друга, взаимно дополняют друг друга.

В процесс познания включены также такие формы мыслительной деятельности, как *предвидение*, *фантазия*, *воображение*, *мечта*, *интуиция* (это формы внелогического (*иррационального*) познания).

2.5. Методы научного познания

Конечный результат познания (новое знание об объектах и явлениях действительности) зависит от того, какими методами осуществляется познавательный процесс.

Метод (от греч. «*metodos*» – путь к чему-либо) – *это совокупность приёмов и операций практического и теоретического познания действительности*.

Он оптимизирует деятельность человека, вооружает его наиболее рациональными способами организации деятельности.

Основоположниками понятий метода и методологии в науке являются французские философы XVII в. **Фрэнсис Бэкон** (1561–1626 гг.) и **Рене Декарт**. Декарт называл методом «точные и простые правила», соблюдение которых способствует приращению знания, позволяет отличить ложное от истинного. Бэкон считал, что научный метод подобен фонарю, освещающему дорогу бредущему в темноте «путнику». Объясняя значение научного метода, Бэкон любил приводить ещё один афоризм: «даже хромой, идущий по дороге, опережает того, кто бежит без дороги». Только верный метод может привести к получению истинного знания, подлинной картины познаваемого предмета.

По степени общности и широте применения методы научного познания делятся на всеобщие (т.е. общечеловеческие приёмы мышления), общенаучные и методы конкретных наук (специальные методы).

Кроме того, методы познания классифицируют *по соотношению эмпирического знания* (т.е. знания, полученного в результате опыта, опытного знания) и *теоретического знания*, суть которого – познание сущности явлений, их внутренних связей.

2.5.1. Всеобщие методы

Всеобщие методы познания касаются любого предмета, любой науки. Это общефилософские методы. В истории познания известны два прямо противоположных и несовместимых всеобщих метода: диалектический и метафизический.

Диалектический метод – это метод познания действительности в её противоречивости, целостности и развитии.

При *метафизическом подходе* объекты и явления окружающего мира рассматриваются изолированно друг от друга, без учёта их взаимной связи и развития.

До конца XIX в. в науке господствовал метафизический метод и лишь с XX в., благодаря новым научным идеям и открытиям, он уступил своё место диалектическому методу познания.

2.5.2. Общенаучные методы

Общенаучные методы используются в самых различных областях науки, т.е. имеют весьма широкий междисциплинарный спектр применения.

Классификация общенаучных методов связана с понятием уровней научного познания. В структуре естественнонаучного познания четко выделяются два уровня познавательной деятельности – *эмпирический* и *теоретический*, каждый из которых характеризуется особенными методами научного познания и формами организации научного знания.

Эмпирический уровень характеризуется непосредственным исследованием реально существующих, чувственно воспринимаемых объектов. На этом уровне осуществляется процесс накопления информации об исследуемых объектах (путем наблюдений, измерений, экспериментов) и происходит первичная систематизация полученных знаний (в виде таблиц, схем, графиков).

На эмпирическом уровне складываются основные формы знания – *научный факт* и *закон*.

Теоретический уровень научного исследования осуществляется на рациональной (логической) ступени познания. Здесь происходит выявление наиболее глубоких, существенных сторон, связей, закономерностей, присущих изучаемым объектам, явлениям.

К теоретическому уровню относятся те методы познавательной деятельности и способы организации знания, которые характеризуются той или иной степенью опосредованности и обеспечивают создание, построение и разработку научной теории (логически организованного знания о законах, необходимых связях и отношениях предметной области данной науки).

Эмпирический и теоретический уровни познания взаимосвязаны и обусловливают друг друга. Эмпирический уровень выступает в качестве основы (фундамента) теоретического.

Методы эмпирического познания используются в самых различных областях науки, т.е. имеют весьма широкий междисциплинарный спектр применения. К ним относятся наблюдение, описание, эксперимент, измерение, сравнение.

Наблюдение – *это преднамеренное и целенаправленное восприятие явлений и процессов без прямого вмешательства в их течение, подчиненное задачам научного исследования*.

Наблюдения используются там, где нельзя поставить прямой эксперимент (например, в вулканологии, космологии).

Научные наблюдения являются источником первичной информации об окружающем мире. Они проводятся для сбора фактов, подтверждающих или опровергающих ту или иную гипотезу и являющихся основой для определенных теоретических обобщений.

По способу проведения наблюдения могут быть *непосредственными* и *опосредованными*.

При непосредственных наблюдениях свойства объекта воспринимаются органами чувств человека.

Опосредованные наблюдения осуществляются с использованием приборов, которые, во-первых, усиливают органы чувств, а во-вторых, снимают налёт субъективизма с оценки наблюдаемых явлений.

В некоторых областях естествознания, например в астрономии, наблюдение остается единственным эмпирическим методом исследования.

Результаты наблюдения фиксируются в описании.

Описание – *это фиксация результатов наблюдения с помощью соответствующих средств записи информации, таблиц, схем, графиков и т.п.*

Описание отмечает те свойства и стороны изучаемого объекта, которые являются предметом исследования. Оно фиксирует и организует факты, даёт их качественную и количественную характеристику, вводит факты в систему выработанных в данной науке понятий, категорий, подготавливает фактический материал для объяснения.

Описание должно быть максимально полным, точным и объективным. Ведь оно должно дать достоверную и адекватную картину изучаемого явления. Именно описания результатов наблюдений составляют эмпирический базис науки, на их основе создаются эмпирические обобщения, систематизации и классификации.

Более сложным, по сравнению с наблюдением, методом эмпирического познания является эксперимент.

Эксперимент – *это целенаправленное и строго контролируемое воздействие исследователя на изучаемый объект для изучения различных его сторон, связей и отношений*.

Эксперимент включает в себя другие методы эмпирического исследования (наблюдение, измерение). В то же время он обладает рядом особенностей:

1) эксперимент позволяет изолировать исследуемый объект от влияния всякого рода побочных факторов;

2) в ходе эксперимента объект может быть поставлен в некоторые искусственные, в частности, экстремальные условия;

3) во время эксперимента многократно воспроизводится ход процесса;

4) экспериментатор может вмешиваться в изучаемый процесс и активно влиять на его протекание.

В зависимости от характера решаемых проблем, эксперименты подразделяются на исследовательские и проверочные.

Исследовательские эксперименты дают возможность обнаружить у объекта новые, неизвестные свойства. Результатом такого эксперимента могут быть выводы, которые не могли быть получены из имевшихся знаний об объекте исследования.

Примером могут служить эксперименты, поставленные в лаборатории *Эрнеста Резерфорда*, в ходе которых обнаружилось странное поведение альфа-частиц при бомбардировке ими золотой фольги: большинство частиц проходило сквозь фольгу, небольшое количество частиц отклонялось и рассеивалось, а некоторые частицы не просто отклонялись, а отскакивали обратно, как мяч от сетки. Такая экспериментальная картина, согласно расчётам, получалась в силу того, что вся масса атома сосредоточена в ядре, занимающем ничтожную часть его объема (отскакивали обратно альфа-частицы, соударявшиеся с ядром). Так, исследовательский эксперимент, проведенный Резерфордом и его сотрудниками, привел к обнаружению ядра атома, а тем самым и к зарождению ядерной физики.

Проверочные эксперименты служат для проверки и подтверждения тех или иных теоретических построений. Так, существование целого ряда элементарных частиц (позитрона, нейтрино и др.) было вначале предсказано теоретически, и лишь позднее они были обнаружены экспериментальным путём.

Наблюдение и эксперимент являются источниками научных фактов, под которыми в науке понимаются особого рода предположения, фиксирующие эмпирическое знание. Факты – фундамент здания науки, они образуют эмпирическую основу науки, базу для выдвижения гипотез и создания теорий.

Большинство научных экспериментов и наблюдений включают в себя проведение различных измерений.

Измерение – *это определение количественных значений изучаемых сторон или свойств объекта исследования с помощью специальных технических устройств*.

Эти устройства могут работать как в руках человека, так и в автоматическом режиме. Современные компьютеры позволяют проводить не только процедуру измерения, но и обрабатывать полученные данные.

Результатом измерения является получение некоторого числа единиц измерения. *Единица измерения* – это эталон, с которым сравнивается изме-

ряемая сторона объекта или явления. В настоящее время в естествознании используется преимущественно Международная система единиц измерения (СИ), принятая в 1960 г. XI генеральной конференцией по мерам и весам. Частным случаем измерения является сравнение.

Сравнение – *это метод научного познания, позволяющий установить сходство и различие изучаемых объектов*.

Сравнение лежит в основе многих естественнонаучных измерений, составляющих неотъемлемую часть любых экспериментов. Сравнивая объекты между собой, человек получает возможность правильно познавать их и тем самым правильно ориентироваться в окружающем мире, целенаправленно воздействовать на него. Будучи необходимым приёмом познания, сравнение играет важную роль в практической деятельности человека и в естественнонаучном исследовании, когда сравниваются действительно однородные и близкие по своей сущности объекты.

Если эмпирическое познание констатирует, *как происходит событие*, то теоретическое познание отвечает на вопрос, *почему оно происходит именно таким образом*.

К **методам теоретического познания** относятся формализация, аксиоматизация и гипотетико-дедуктивный метод.

Формализация – особый подход в научном познании, который заключается в *использовании специальной символики, позволяющей отвлечься от изучения реальных объектов, от содержания описывающих их теоретических положений и оперировать вместо этого некоторым множеством символов (знаков)*.

Примерами формализации являются широко используемые в науке математические описания различных объектов, явлений, основывающиеся на соответствующих содержательных теориях. Используемая при этом математическая символика не только помогает закрепить уже имеющиеся знания об исследуемых объектах и явлениях, но и выступает своего рода инструментом в процессе дальнейшего их дознания. Формализация обеспечивает краткость и четкость записи научной информации, что открывает большие возможности для оперирования ею. Вряд ли удалось бы успешно пользоваться, например, теоретическими выводами *Джеймса Максвелла*, если бы они не были компактно выражены в виде математических уравнений, а описывались бы с помощью обычного, естественного языка.

Аксиоматизация – *метод построения теории на основе аксиом – утверждений, доказательства истинности которых не требуется*.

Этот метод широко используется практически во всех достаточно математизированных естественнонаучных теориях. Его суть заключается в том, что в этих теориях формулируют ограниченное число основных законов (аксиом), из которых путём строгих математических или логических выводов получают остальное содержание данной теории. Например, так выводят всё содержание классической механики из трёх законов *Ньютона*.

Гипотетико-дедуктивный метод – *один из методов рассуждения, основанный на выведении (дедукции) заключений из гипотез и других посылок, истинное значение которых неопределенно*.

В основе метода лежит постулат о том, что развитое теоретическое знание строится не за счет процедур индуктивного обобщения экспериментальных данных и фактов, т.е. «снизу», а развертывается как бы «сверху» по отношению к последним. С логической точки зрения, гипотетико-дедуктивная система представляет собой *иерархию гипотез*, степень абстрактности и общности которых увеличивается по мере удаления от эмпирического базиса. На вершине располагаются гипотезы, имеющие наиболее *общий характер* и поэтому обладающие наибольшей логической силой. Из них как из посылок выводятся гипотезы более низкого уровня. Они выступают как следствия к гипотезам верхнего уровня. На самом низшем уровне системы находятся гипотезы, которые можно сопоставить с эмпирическими данными.

В научном познании гипотетико-дедуктивный метод получил широкое распространение в XVII–XVIII вв., когда были достигнуты значительные успехи в области изучения механического движения земных и небесных тел. Первые попытки применения гипотетико-дедуктивного метода были предприняты в механике, в частности в исследованиях *Галилео Галилея*. Теория механики, изложенная в «Математических началах натуральной философии» *Исаака Ньютона*, представляет собой гипотетико-дедуктивную систему, посылками которой служат основные законы движения.

Существуют методы познания, применяемые на каждом из уровней познания. К ним относятся:

Анализ и синтез

Анализ (от греч. *analysis* – расчленение) – *метод научного познания, в основе которого лежит процедура мысленного или реального разложения объекта на составляющие его части и их отдельное изучение*.

В качестве таких частей могут быть какие-то вещественные элементы объекта или же его свойства, признаки, отношения. Анализ – одна из начальных стадий исследования, на которой от целостного описания объекта переходят к его строению, составу, признакам и свойствам.

Когда путём анализа частности достаточно хорошо изучены, наступает следующая стадия познания – синтез.

Синтез (от греч. *synthesis* – соединение, сочетание, составление) – *метод научного познания, в основе которого лежит объединение познанных в результате анализа элементов в единое целое*.

Синтез не является простым механическим соединением элементов, разъединённых анализом. Он показывает место и роль каждого элемента в системе, его связь с другими составными частями системы.

Анализ и синтез – две стороны единого аналитико-синтетического метода познания, которые находятся в диалектическом единстве друг с другом. Анализ преобладает на начальной стадии исследования, а синтез – на заключительной.

Обобщение и абстрагирование

Обобщение – *логический процесс перехода от единичного к общему, от менее общего к более общему знанию*.

Путём обобщения устанавливаются общие свойства и признаки исследуемых объектов. Примерами обобщений являются: переход от суждения «этот металл проводит электричество» к суждению «все металлы проводят электричество»; от суждения «механическая форма энергии превращается в тепловую» к суждению «всякая форма энергии превращается в тепловую».

Результатом обобщения является обобщенное понятие, суждение, закон или теория.

Обобщение тесно связано с абстрагированием и идеализацией, в ходе которых образуются *научные понятия*.

Абстрагирование (от лат. *abstractio* – удаление, отвлечение) – *это мысленное отвлечение от каких-то менее существенных свойств, сторон, признаков изучаемого объекта с одновременным выделением и фиксированием одной или нескольких интересующих исследователя сторон этого объекта*.

Например, Иоганну Кеплеру были неважны красный цвет Марса или температура Солнца для установления законов обращения планет.

Посредством абстрагирующей работы мышления возникли все понятия и категории естественных и социально-экономических наук: материя, движение, масса, энергия, пространство, время, растение, животное, биологический вид, товар, деньги, стоимость и др.

Специфическим видом абстрагирования является идеализация.

Идеализация – *это мыслительное образование абстрактных объектов, не существующих и не осуществимых в действительности, но для которых имеются прообразы в реальном мире*.

Такие идеальные объекты, как правило, наделены каким-либо одним интересующим исследователя свойством.

Примерами понятий, являющихся результатом идеализации, являются «материальная точка», «абсолютно чёрное тело», «идеальный газ». С помощью таких понятий можно строить абстрактные схемы реальных процессов, служащие для более глубокого их понимания.

Индукция и дедукция

Индукция (от лат. *inductio* – наведение, побуждение) – *метод исследования и способ рассуждения, при котором общий вывод о свойствах пред-*

метов и явлений строится на основе отдельных фактов или частных посылок (познание от частного к общему).

Родоначальником классического индуктивного метода познания является *Френсис Бэкон*. Методом индукции осуществляется переход от анализа фактов к синтезу полученных знаний, то есть к нахождению эмпирических зависимостей между экспериментально наблюдаемыми свойствами объектов и явлений. Знание, получаемое с помощью этого метода, является не достоверным, а вероятным, причём различной степени точности.

Индукция не может существовать в отрыве от дедукции.

Дедукция (от лат. *deductio* – выведение) – *переход от общих рассуждений или суждений к частным выводам* (познание от общего к частному).

Дедукция позволяет, исходя из уже познанных законов и принципов, выводить новые положения с помощью законов и правил логики. Поэтому метод дедукции не приводит к получению содержательно нового знания. Этот метод имеет первостепенное значение в теоретических науках как орудие их логического упорядочения и построения, особенно когда известны истинные положения, из которых можно получить логически необходимые следствия. Особенно широко он используется математиками, которые оперируют математическими абстракциями и строят свои рассуждения на общих положениях. Эти общие положения применяются к решению частных, конкретных задач.

В науке Нового времени пропагандистом дедуктивного метода был *Рене Декарт.*

Аналогия и моделирование

Аналогия (от греч. *analogia* – соответствие, сходство) – *метод познания, при котором происходит перенос знания, полученного при рассмотрении какого-либо объекта, на другой объект, менее изученный, но схожий с первым по каким-то существенным свойствам*.

При этом объект, который подвергается исследованию, именуется *моделью*, а другой объект, на который переносится информация, полученная в результате исследования модели, называется *оригиналом* (прототипом, образцом).

Метод аналогии основывается на сходстве предметов по ряду каких-либо признаков, причём сходство устанавливается в результате сравнения предметов между собой.

Многие важные открытия в сфере естествознания были сделаны путём переноса общих закономерностей, свойственных одной области явлений, на явления другой области. Так, *Христиан Гюйгенс* на основании аналогии свойств света и звука пришел к выводу о волновой природе света. По аналогии с искусственным отбором лучших пород домашних животных *Чарльз Дарвин* открыл закон естественного отбора в животном и растительном мире. Аналогии с механизмом действия мышц, мозга, органов

чувств животных и человека подтолкнули к изобретению многих технических сооружений: экскаваторов, роботов, логических машин.

Метод аналогии применяется в математике, физике, химии, в гуманитарных и других дисциплинах. Он тесно связан с методом моделирования.

Моделирование (от лат. *modelium* – мера, образ) – *это изучение объекта* (*оригинала*) *путем создания и исследования его копии* (*модели*), *замещающей оригинал с определённых сторон, интересующих исследователя*.

Сущность моделирования состоит в том, что непосредственно исследуется не сам объект, а его аналог (заместитель, модель), а затем полученные при изучении модели результаты по особым правилам переносятся на сам объект (прототип).

Потребность в моделировании возникает в тех случаях, когда сам объект либо труднодоступен, либо его прямое изучение экономически невыгодно (дорого) или требует слишком длительного времени.

Точнее всего свойства прототипа воспроизводят *математические* (и основанные на них *компьютерные*) модели. Они представляют собой совокупность математических уравнений для величин, характеризующих прототип. Математическое моделирование возможно, если закономерности, управляющие поведением и свойствами изучаемого объекта, известны достаточно точно. Поэтому использование математических моделей характерно для наиболее развитых разделов науки. Если же закономерности известны неточно или оказываются слишком сложными для математического моделирования, то используют *натурные* модели, воспроизводящие геометрические, физические, динамические или функциональные характеристики объекта. Например, на таких моделях исследуются аэродинамические качества самолетов и других машин, ведётся разработка различных сооружений (плотин, мостов, электростанций и др.).

Исторический и логический методы

Для изучения сложных развивающихся объектов, которые не могут быть воспроизведены в опыте, применяются особые методы исследования: *исторический* и *логический*.

Исторический метод – *это воспроизведение деталей и фактов познаваемого объекта во всем конкретном многообразии его исторического развития*.

Этот метод предполагает изучение истории возникновения изучаемого явления, основных этапов его развития с учётом всех зигзагов и случайностей, а также его современного состояния.

Областью применения исторического метода является, прежде всего, исследование человеческой истории. Однако данный метод используется также в целях познания различных явлений живой и неживой природы. Так, изучение различных геологических явлений (образование морей, рек, лесных массивов, нефти, газа, горообразование) опирается на исследование

всей истории происходивших на Земле процессов. Кроме того, исторический метод познания часто применяется в экономике. Он позволяет конкретно и наглядно представить все особенности каждой экономической системы на разных этапах её исторического развития. Однако исторический подход к анализу хозяйственной деятельности таит в себе существенные недостатки. Обилие описательного материала и частных исторических подробностей может затруднять теоретическое изучение экономики. Подобным путём не удается четко выявить типические черты систем производства. Преодолеть эти недостатки помогает логический метод.

Логический метод – *это метод воспроизведения в мышлении сложного развивающего объекта в форме определенной теории*.

При логическом исследовании объекта отвлекаются от всех исторических случайностей, несущественных фактов, зигзагов и даже попятных движений, вызванных теми или иными событиями. Из истории вычленяется самое главное, существенное, определяющее общий ход и направленность развития. Она рассматривается, грубо говоря, не такой, какой была, а в «исправленном» виде. Логически воспроизведенная история – это действительная история, но обобщенная, освобожденная от всего несущественного, случайного, наносного. В ней сохраняется только то, что существенно, необходимо и закономерно. Иначе говоря, логическое воспроизведение истории должно в общем и целом соответствовать действительной, эмпирической истории. Этого требует и принцип единства исторического и логического.

Использование логического метода помогает глубже понять причинно-следственные зависимости в экономике. Например, люди не всегда замечают, что между хозяйственными процессами существуют определенные отношения, которые изменяются во времени и в пространстве с естественной последовательностью, называемой объективной логикой (внутренней закономерностью развития хозяйственных явлений). Если по какой-то причине приостанавливается добыча нефти, то это с неизбежностью влечет за собой множество нежелательных последствий: прекращают работать нефтеперерабатывающие заводы, предприятия нефтехимии, не производится моторное топливо, отключаются тепловые электростанции и т.д.

Чтобы освободиться от стихийных сил хозяйственного развития, или, по крайней мере, уменьшить их разрушительные последствия, экономическая наука стремится как можно полнее и глубже познать объективную логику экономического развития в масштабе каждого предприятия, страны и всего мира. Полученные теоретические и практические выводы используются для прогнозирования и улучшения управления хозяйством.

Исторический и логический методы взаимосвязаны. Исторический метод предполагает исследование конкретного процесса развития, а логиче-

ский метод – исследование общих закономерностей движения объекта познания.

Классификация (от лат. *classis* – разряд, класс) – *разделение всех изучаемых объектов на отдельные группы в соответствии с каким-либо важным для исследователя признаком*.

Особенно часто классификация используется в описательных науках – многих разделах биологии, геологии, географии, кристаллографии. Классификация упорядочивает информацию. В процессе изучения новых объектов в отношении каждого такого объекта делается вывод: принадлежит ли он к уже установленным классификационным группам. В некоторых случаях при этом обнаруживается необходимость перестройки системы классификации. Существует специальная теория классификации – *таксономия*. Она рассматривает принципы классификации и систематизации сложноорганизованных областей действительности, имеющих обычно иерархическое строение (органический мир, объекты географии, геологии и т.п.).

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

2.5.3. Методы конкретных наук

Конкретно-научные (*частные*) методы научного познания – это специальные методы, действующие только в пределах отдельной отрасли науки.

Специальные методы, применяемые, например, в археологии, зоологии или географии, обычно не выходят за пределы этих наук. Таков, в частности, метод кольцевания птиц, применяемый в зоологии. Иногда частные методы могут использоваться за пределами той области знания, в которой они возникли. Так, методы физики, применяемые в других отраслях естествознания, привели к созданию астрофизики, геофизики, кристаллофизики и других междисциплинарных наук. Нередко комплекс взаимосвязанных частных методов применяется к изучению одного предмета. Например, молекулярная биология одновременно пользуется методами физики, математики, химии, кибернетики.

Хотя частные методы и способы исследования в разных науках могут заметно отличаться друг от друга, однако общий подход этих методов к процессу познания остается в сущности одним и тем же. Все они определяют тактику исследования. Стратегию исследования определяют особенные методы познания. Кроме того, все частные методы познания связаны с определенными сторонами или сочетаниями особенных методов.

2.6. Формы научного знания

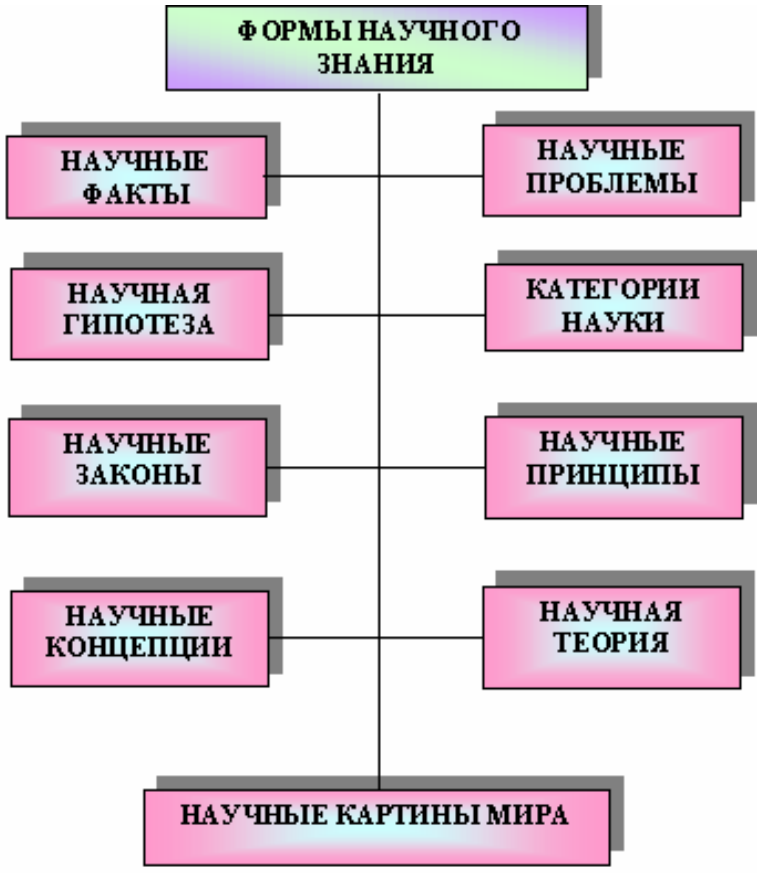
Итогом познания является новое научное знание.

Знание – *проверенный практикой результат познания действительности, верное ее отражение в сознании человека*.

Особенности научного знания:

1. Оно имеет системный упорядоченный характер (т.е. характеризуется логической доказательностью, выводимостью одних знаний из других).
2. Оно характеризуется универсальностью, т.е. общезначимостью, общеприменимостью, имеет согласованный (непротиворечивый) характер.
3. Имеет объектом познания как предметы и явления реального мира, так и их мыслительные аналоги – понятия, категории, законы, числа и т.п.
4. Характеризуется объективностью открываемых истин, т.е. независимостью от познающего субъекта; требует простого, строгого и однозначного научного языка.
5. Характеризуется большим информационным потенциалом; имеет прогностический характер.

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



Научные факты – *различные факты, установленные путем наблюдений или экспериментов*. Факт, как явление действительности, становится научным фактом, если он прошел строгую проверку на истинность. Факты – это наиболее надежные аргументы, как для доказательства, так и для опровержения каких-либо теоретических утверждений. И.П. Павлов называл факты «воздухом ученого». Однако постижение действительности не сводится только к сбору фактического материала. По мнению А. Пуанкаре «ученый должен организовывать факты; наука слагается из фактов, как дом из кирпичей. И одно голое накопление фактов не составляет еще науки, точно так же как куча камней не составляет дома». Факты приобретают силу научного основания для построения той или иной теории в том случае, если они не только достоверно устанавливаются, разумно отбираются, но и рассматриваются в их научной связи.

Научная гипотеза – *это предположительное знание, истинность или ложность которого еще не доказана*, но которое выдвигается не произвольно, а при соблюдении ряда требований, к которым относятся следующие:

– отсутствие противоречий (основные положения предлагаемой гипотезы не должны противоречить известным и проверенным фактам; при этом следует учитывать, что бывают и ложные факты, которые сами нуждаются в проверке).

– соответствие новой гипотезы надежно установленным теориям. (так, после открытия закона сохранения и превращения энергии все новые предложения о создании «вечного двигателя» более не рассматриваются).

– доступность выдвигаемой гипотезы экспериментальной проверке, хотя бы в принципе.

– максимальная простота гипотезы.

Научные проблемы – *это осознанные вопросы, для ответа на которые имеющихся знаний недостаточно*. Их можно определить и как «знания о незнании».

Категории науки – *это наиболее общие понятия теории, характеризующие существенные свойства объекта теории, предметов и явлений объективного мира*.

Например, важнейшими категориями являются: материя, пространство, время, движение, причинность, качество, количество и. т.п.

Законы науки – *представляют собой выраженную словесно или математически связь между свойствами материальных объектов*.

Например, закон всемирного тяготения выражает связь между массами тел и силой их взаимного притяжения.

Научные принципы – *это общие законы, распространяющиеся на все физические процессы, все формы движения материи*.

Например, принцип относительности Галилея; принцип неопределенности; принцип суперпозиции.

Научные принципы закладываются в фундамент создаваемых научных теорий.

Научная теория – *это система уже подтвержденного знания*.

Научные теории объясняют множество накопленных научных фактов и описывают определенный фрагмент реальности посредством системы законов. Например, молекулярно-кинетическая теория идеального газа, электронная теория проводимости металлов.

Научные концепции – *частные разновидности теории*.

Например, специальная теория относительности и общая теория относительности; концепции близкодействия и дальнодействия.

Научная картина мира – *это образ мира, система научных теорий; описывающая реальность*.

Например, физическая картина мира; химическая картина мира; биологическая картина мира.

2.7. Псевдонаука

В современной культуре помимо науки существует феномен *псевдонауки*.

Псевдонаука – *это сочетание научных данных с вымыслом*.

Примерами псевдонаук являются:

1) *уфология* – изучает неопознанные летающие объекты (НЛО).

2) *алхимия* – изыскивает способы превращения простых металлов в драгоценные при помощи фантастического философского камня; а также занимается поиском эликсира долголетия.

3) *астрология* – использует факты астрономии и искусственно совмещает с вымыслом о влиянии положения звёзд и планет на судьбу человека.

4) *нумерология* – изучает влияние чисел на судьбу человека.

5) *парапсихология* — исследует причины сверхспособностей людей и животных, а также феномен жизни после смерти, используя научную методологию.

6) *девиантная наука* – псевдонаука, в рамках которой имеют место фальшивые археологические находки.

Признаки псевдонауки:

1) *некритичный подход к исходным данным* – за достоверные факты принимаются легенды, мифы, рассказы.

2) *фрагментарность* – интерес к фактам только в пользу псевдотеории; псевдонаучные знания не вписываются в какую-либо картину мира.

3) *неверифицируемость данных* – эмпирически не проверяются.

4) *нефальсифицируемость данных* — псевдонаучное знание абсолютно, неизменно, законченно, его нельзя опровергать.

5) *отсутствие ссылок на серьёзные публикации в научных журналах.*

6) *попытки обосновать религиозные верования с помощью наукообразной терминологии.*

7) *нарушение общепринятых этических норм* — подтасовывание событий.

8) *отсутствие законов* — излагается не концепция, а сценарий событий, которые происходили, по мнению автора.

2.8. Критерии научности

Критерии научности *позволяют различить* научные и псевдонаучные идеи.

К критериям научности относятся:

1. Принцип верификации – *любая теория, которая претендует на звание научной, должна быть эмпирически подтверждена*.

2. Принцип фальсификации – *если какое-либо учение построено так, что в состоянии истолковать любые факты (т. е. учение неопровержимо в принципе), то оно не может претендовать на статус научного*.

2.9. Концепции научного познания

Концепции научного познания рассматривают *соотношения между закономерностями физических, химических и биологических процессов*.

Они определяют *тенденции развития* естествознания.

К ним относятся:

Редукционизм – *это концепция, на основе которой все процессы в сложных системах (например, биологических) могут быть полностью объяснены на основе законов, свойственных более простым системам.*

Витализм – это концепция, на основе которой существование жизни обусловлено наличием в живых системах особых нематериальных сверхъестественных факторов.

Эта концепция оказалась тоже *неверна*.

Соотношение между физическими, химическими и биологическими процессами может быть *правильно истолковано только в рамках эволюционного взгляда на мир*.

Вопросы для самопроверки

1.Что называется научным познанием?

2.Охарактеризуйте ступени научного познания.

3.Что такое научный метод?

4.Как принято подразделять методы научного познания?

5.Опишите всеобщие методы познания.

6.Дайте понятие общенаучных методов. Укажите отличие общенаучных методов от всеобщих.

7.Что такое анализ, синтез?

8.Что такое обобщение, абстрагирование, идеализация?

9.Что такое индукция и дедукция? Приведите примеры.

10.Что такое аналогия, моделирование?

11.Охарактеризуйте исторический и логический методы познания.

12.В чём заключается метод классификации?

13.Охарактеризуйте методы эмпирического познания: наблюдение, описание, эксперимент, измерение, сравнение.

14.Дайте общую характеристику методам теоретического познания. В чём заключаются методы формализации, аксиоматизации, гипотетико-дедуктивный метод?

15.Дайте характеристику специальным методам познания.

3. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ О МАТЕРИИ

3.1. Материя и её свойства

Материя – *это сущность мира, то общее, что входит в состав всех объектов природы*.

Материя в природе существует в виде вещества, поля и физического вакуума.

Вещество – *основной вид материи, обладающий массой покоя*. К вещественным объектам относятся элементарные частицы, атомы, молекулы и многочисленные образованные из них тела (кристаллы, минералы, горные породы, живые организмы).

Вещество может находиться в различных агрегатных состояниях: газ, жидкость, твёрдое тело, плазма.

Вещество – это прерывный (дискретный) вид материи.

Поле – *особый вид материи, обеспечивающий взаимодействие материальных объектов и их систем*. Поля могут накладываться друг на друга, занимать одно и то же место в пространстве. Этот вид материи является непрерывным, и этим он существенно отличается от вещества. К физическим полям относятся электромагнитное гравитационное поля, поле ядерных сил, а также волновые (квантовые) поля, соответствующие различным частицам (например, электрон-позитронное поле). Источниками физических полей являются частицы (например, для электромагнитного поля – заряженные частицы). Созданные частицами физические поля переносят с определенной скоростью взаимодействие между ними.

Физический вакуум – *это вид материи, способный при определенных условиях рождать вещественные частицы*. Это низшее энергетическое состояние квантового поля.

Поле и вещество обладают разными свойствами:

• Под веществом имеют в виду различные частицы и тела, которым присуща масса покоя. Поля (гравитационное и электромагнитное) не имеют массы покоя, хотя обладают энергией, импульсом и множеством других свойств.

• *Степень концентрации массы и энергии*:

Вещество обладает большой концентрацией массы и энергии, гравитационное и электромагнитное поля, наоборот, разреженная форма материи, характеризующаяся малой концентрацией массы и отсутствием четких границ. Можно получить некоторое представление о плотности вещества как вида материи, взяв в качестве представителя вещества какую-либо из элементарных частиц, например, протон. Он имеет массу около $1,7 \cdot 10^{-27}$ кг и размер порядка 10^{-15} м. Приняв его объем равным $\left(10^{-15}\right)^3$ м^3 и разделив массу

~10^{-27} кг на объем, получим 10^{18} кг/м^3. Это миллиарды тонн в кубическом сантиметре. Примерно такую же плотность имеет электрон. Столь гигантские плотности мы никогда не наблюдаем в обычном веществе. Структура материи такова, что во всех системах внутренние пространство занято полями, а на долю собственно частиц приходится ничтожная часть общего объёма системы (примерно 10^{-36} – 10^{-40} объема), т.е. поля входят в структуру вещества. В свою очередь, квантами полей выступают частицы, вещества. В этой неразрывной взаимосвязи частиц и полей можно видеть одно из важнейших проявлений единства прерывности и непрерывности в структуре материи.

В микромире различие в степени концентрации массы и энергии у вещества и поля стирается. Ядерные поля обладают огромной концентрацией массы и энергии. И даже кванты электромагнитного поля могут достигать концентраций энергии значительно превосходящих таковую у частиц вещества.

• *Закономерности движения*:

Скорость распространения гравитационного и электромагнитного полей равна скорости света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. А скорость движения частиц вещества всегда меньше этой величины.

Наличие ядерных полей ликвидирует эту границу. Для квантов этих полей характерна невозможность движения со скоростью, равной скорости света.

• *Степень проницаемости*:

Вещество малопроницаемо, а электромагнитные и гравитационные поля – наоборот.

На уровне микромира эта граница исчезает. Для таких частиц, как нейтрино вещество оказывается весьма проницаемым, но ядерные поля могут обладать очень малой проницаемостью.

• *Корпускулярная и волновая сущности*:

Частицы вещества обладают волновыми свойствами, а непрерывное в макроскопических процессах электромагнитное поле обнаруживает на уровне микромира свой корпускулярный аспект.

Таким образом: различие вещества и поля верно характеризует реальный мир в макроскопическом приближении. Это различие не является абсолютным и при переходе к микрообъектам ярко обнаруживается его относительность. В микромире понятия частицы (вещество) и волны (поля) выступают как дополнительные характеристики, выражающие внутренне противоречивую сущность микрообъектов.

3.2. Эволюция представлений о материи. Корпускулярная и континуальная концепции

Эволюция представлений материи включает 4 этапа:

1. В рамках древнегреческой натурфилософии на первой ступени её развития (концепция созерцательного материализма) впервые появилась мысль о том, что *материя – это конкретное вещество* (земля, воздух, вода, огонь).

Например, древнегреческий философ Гераклит (544–483 гг. до н.э.) предлагал в качестве единственного первоначала, из которого всё возникло и всё состоит – огонь.

Основатель Милетской школы натурфилософии Фалес утверждал, что началом всего существующего является вода (625–547 гг. до н.э.), а его ученик Анаксимен (585–524 гг. до н.э.) за основу всего признавал воздух.

На второй ступени развития древнегреческой натурфилософии, охватывающей V–IV вв. до н.э. формируется концепция атомистического материализма. Выдающимся представителем этой концепции был Демокрит (460–370 гг. до н.э.). Он выдвинул идею о том, что *материя состоит из атомов и пустоты.*

2. XVII-XVIII вв. (вторая научная революция). Величайший ученый в истории человечества И. Ньютон (1643–1727) в рамках классической механики выдвинул концепцию корпускулярного (дискретного) строения материи. Ньютон считал, что *материя – это субстанция, состоящая из отдельных частиц – атомов или корпускул*. Атомы абсолютно прочны, неделимы, непроницаемы, характеризуются наличием массы и веса.

3. Третий этап совпадает с развитием электродинамики Максвелла (1831–1879).

На этом этапе сформировалась концепция континуального (непрерывного) строения материи.

Стали считать, что материя существует в двух видах – вещество и поле. Они строго разделены и их превращение друг в друга невозможно. Главным является поле. А значит, основным свойством материи является непрерывность в противовес дискретности.

4. Четвертый этап совпадает по времени с четвертой научной революцией (конец XVIII в. – начало XX в.). В этот период формирования квантовой механики, начало которой было положено Максом Планком (1858–1947), а основополагающие законы сформулированы Вернером Гейзенбергом (1901–1976), Э Шредингером (1887–1961) и Н Бором (1885–1962), сформировалась концепция корпускулярно-волнового дуализма, согласно которой *материя как физическая реальность едина и нет пропасти между веществом и полем*. Поле, подобно веществу, обладает корпускулярны-

ми свойствами, а частицы вещества, подобно полю – волновыми. Т.е. *каждый элемент материи обладает свойствами волны и частицы.*

3.3. Структурные уровни организации материи

Структурные уровни вещества

В естественных науках выделяются два больших класса материальных систем: системы неживой природы и системы живой природы.

1. Структурные уровни организации вещества в неживой природе:

1) элементарные частицы – низший уровень;

2) атомы;

3) молекулы;

4) поля;

5) физический вакуум;

6) макроскопические тела;

7) планеты и планетные системы;

8) звезды и звездные системы (галактики);

9) системы галактик (метагалактика) – высший уровень.

2. Структурные уровни организации вещества в живой природе:

1) системы доклеточного уровня (нуклеиновые кислоты и белки) – низший уровень;

2) клетки – особый уровень биологической организации (одноклеточные организмы и элементарные единицы живого вещества);

3) многоклеточные организмы растительного и животного мира (особи);

4) надорганизменные структуры (популяции и биоценозы);

5) биосфера (вся масса живого вещества) – высший уровень.

Структурные уровни организации поля:

1. гравитационные поля (кванты-гравитоны);

2. электромагнитные поля (кванты-фотоны);

3. ядерные поля (кванты-мезоны);

4. электронно-позитронные поля (кванты-электроны, позитроны).

3.4. Структурные уровни организации мироздания

В современном естествознании принято, что наиболее естественным и наглядным признаком структуры материи являются характерный размер объекта на данном уровне и его масса. В соответствии с этими представлениями выделяют следующие уровни строения материи:

1. **Микромир** – мир предельно малых, непосредственно не наблюдаемых микрообъектов, пространственная размерность которых исчисляется от 10^{-8} до 10^{-18} см, а время жизни – от бесконечности до 10^{-24} с. Масса объектов микромира не более 10^{-10} кг. К ним относятся элементарные частицы и античастицы, ядра атомов, атомы, молекулы.

2. **Макромир** – мир макрообъектов, размерность которых соотносима с масштабами человеческого опыта: пространственные величины выражаются в миллиметрах, сантиметрах и километрах, время – в секундах, минутах, часах, годах. Масса объектов макромира от 10^{-10} до 10^{20} кг. К ним относятся макромолекулы, веществам в различных агрегатных состояниях, живые организмы, начиная с элементарной единицы живого – клетки, человек и продуктами его деятельности, т.е. макротела.

3. **Мегамир** – мир огромных космических масштабов и скоростей, расстояние в котором измеряется световыми годами, а время существования космических объектов – миллионами и миллиардами лет. Масса объектов мегамира более 10^{20} кг. Мегамир образуют планеты, звёзды, галактики, системы галактик.

Согласно современным представлениям все объекты природы классифицируются в зависимости от размеров и массы.

3.5. Движение

Одним из первых, кто задумался о сущности движения, был Аристотель.

Он определял движение как *изменение положения тела в пространстве*. Пространство, по Аристотелю, целиком заполнено материей, неким подобием эфира или прозрачной, как воздух субстанцией. «*Пустоты в природе нет* – утверждал он – *природа боится пустоты*». Аристотель считал, что место тела задается материей, которая непосредственно соприкасается с его поверхностью. Поэтому собственное, или истинное движение есть изменение места тела.

В науке исторически сложились 2 концепции в понимании движения:

1)*Диалектическая концепция*, согласно которой, *движение – есть способ существования материи.* Это означает, что вне движения нельзя даже мысленно представить себе ни один материальный объект. Всё, что мы можем сказать об объекте, в конечном итоге сводится к раскрытию присущих ему движений.

2)*Метафизическая концепция* (этой концепции движения придерживаются сторонники двух различных философских направлений: метафизического субстанциализма и идеалистического релятивизма).

Сторонники метафизического субстанциализма считают, что *объект значит нечто само по себе, вне присущих ему движений*. *Движение – нечто внешнее, налагающееся на объект.*

Сторонники идеалистического релятивизма *отрицают субстанции вообще. Для них характерно провозглашение чистого движения, существующего без носителя.*

Основные формы движения:

• механическая;
• физическая;
• химическая;
• биологическая;
• социальная.

Движение – это любое изменение вообще, независимо от характера, направления и результатов.

Особый вид изменения, являющийся необратимым и обязательно включающий в себя качественные преобразования называется *развитием.*

Развитие характеризуется:

• направленностью;
• поступательностью;
• преемственностью;
• моментами повторяемости;
• отрицанием старого и появлением нового.

Развитие есть процесс.

3.6. Механическое движение

Простейшей формой движения материи является *механическое движение*, представляющее собой изменение положения тела в пространстве с течением времени. В процессе механического движения рассматриваемое тело изменяет свое положение в пространстве относительно другого тела (или других тел), условно принятого за неподвижное и называемого *телом отсчета.* Для определения положения тел в пространстве с телом отсчета жестко связывается прямоугольная (декартова) система координат, снабженная часами (*система отсчета*).

Положение движущейся материальной точки (или тела) в данный момент времени в декартовой системе координат можно задать двумя способами:

1) тремя скалярными координатами x, y, z.

2) радиусом-вектором $\vec{r}$, проведённым из начала координат в данную точку. Единичные векторы $\vec{i}, \vec{j}$ и $\vec{k}$, направленные вдоль соответствующих осей x, y, z, образуют *ортонормированный базис* (рис. 3.1).

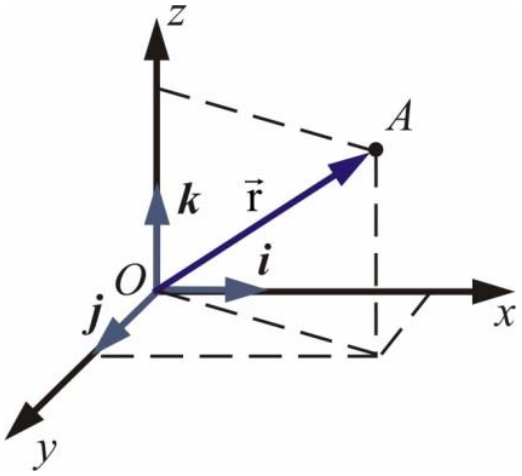


Рис. 3.1

Радиус-вектор $\vec{r}$ можно представить через скалярные координаты точки следующим образом:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}\ .$$

Модуль радиус-вектора $\vec{r}$:

$$\left|\vec{r}\right| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\ .$$

При перемещении материальной точки её радиус-вектор $\vec{r}$ изменяется со временем (рис. 3.1):

$$\vec{r} = \vec{r}\left(t\right), \qquad (3.1)$$

Уравнение (3.1) – векторное кинематическое уравнение движения.

Координаты точки тоже изменяются со временем:

$$\begin{aligned} x &= x\left(t\right) \\ y &= y\left(t\right), \\ z &= z\left(t\right) \end{aligned} \qquad (3.2)$$

Уравнение (3.2) – скалярные кинематические уравнения движения

Линия, которую описывает в пространстве движущаяся материальная точка, называется *траекторией.*

Длина участка траектории, пройденного материальной точкой за некоторый промежуток времени Δt называется *путём* (S).

Вектор, проведённый из начального положения материальной точки в её положение в данный момент времени называется *перемещением* $\left(\Delta\vec{r}\right)$:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1.$$

Быстрота изменения положения материальной точки в пространстве характеризуется *вектором мгновенной скорости* $\vec{\upsilon}$.

Модуль вектора мгновенной скорости равен первой производной от пути по времени:

$$\upsilon = \frac{dS}{dt}.$$

Быстрота изменения вектора мгновенной скорости при прямолинейном движении характеризуется *вектором ускорения* $\vec{a}$.

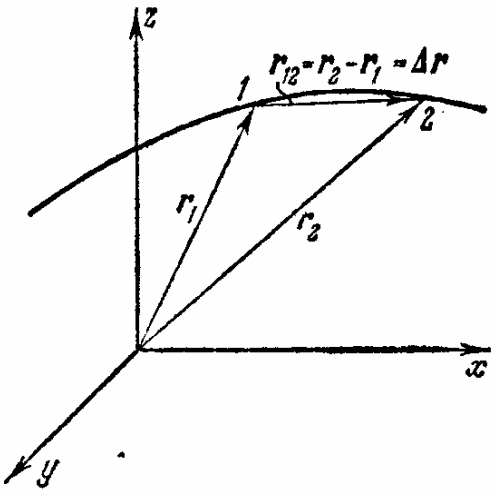


Рис. 3.2

Модуль вектора ускорения при прямолинейном движении равен первой производной от скорости по времени:

$$a = \frac{d\upsilon}{dt}.$$

Вопросы для самопроверки

1. Дайте понятие материи.
2. Охарактеризуйте виды материи.
3. Опишите эволюцию взглядов на понятие «материя».
4. Перечислите структурные уровни организации разных видов материи.
5. Что называется движением?
6. Как понимали сущность движения сторонники диалектического материализма?
7. Опишите подход к движению сторонников метафизической концепции.
8. Опишите свойства движения.
9. Приведите классификацию форм движения в природе.
10. Какое движение называется механическим?
11. Что такое материальная точка?
12. Что называется телом отсчёта, системой отсчёта?
13. В чём суть координатного и векторного способов описания движения материальной точки?
14. Что называется траекторией движения тела и пройденным путём?
15. Что такое вектор перемещения тела?
16. Что характеризует скорость движения тела? Как определяется мгновенная скорость? В каких единицах измеряется скорость?
17. Что характеризует вектор ускорения? Как определяется вектор мгновенного ускорения? В каких единицах измеряется ускорение?
18. Какое движение называется равноускоренным? Запишите формулы кинематики прямолинейного равноускоренного движения.

4. ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, ПРИНЦИПЫ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

4.1. Развитие представлений о пространстве и времени

На протяжении почти всей истории естествознания и философии существовали *две основные концепции* пространства и времени: *субстанциальная* и *реляционная*.

Субстанциальная концепция идет от древнегреческих философов-атомистов – Демокрита, Эпикура, Лукреция. Она рассматривает пространство и время как *особые самостоятельные сущности* наряду с материей. Пространство и время существуют сами по себе, независимо от материальных объектов и выступают как их пустые вместилища. *Пространство – чистая протяжённость, бесконечная пустота, вмещающая все тела. Время – чистая длительность*.

Подобная точка зрения получила своё логическое завершение в *концепции абсолютного пространства и времени* И.Ньютона. По его воззрениям пространство и время – *суть особые начала,* существующие независимо друг от друга и от материи.

Пространство само по себе (абсолютное пространство) есть пустое «вместилище тел», абсолютно неподвижное, непрерывное, однородное и изотопное, проницаемое – не воздействующее на материю и не подвергающееся ее воздействию.

Время в концепции И. Ньютона само по себе есть нечто абсолютное и ни от чего не зависящее, чистая длительность, равномерно текущая от прошлого к будущему, оно является «пустым вместилищем событий», которые могут его заполнять, но могут и не заполнять; ход событий не влияет на течение времени.

Субстанциальная концепция приобрела в науке и философии XVII-XVIII вв. доминирующее значение. Она хорошо вписывалась в обыденное понимание вещей и событий: наличие механического движения казалось неопровержимым доказательством существования неподвижного абсолютного пространства.

Реляционный подход наметился ещё у Аристотеля, развили его Декарт, Лейбниц, Толанд. Главное в этой концепции то, что пространство и время рассматриваются в ней не как особые субстанции, а как формы существования материальных объектов. Например, Лейбниц, подчёркивая относительный характер пространства и времени, называл пространство «порядком сосуществования тел», а время – «порядком последовательности» событий.

Субстанциальная и реляционная концепции не связаны однозначно с материалистическим или идеалистическим толкованием мира, обе разви-

вались на той и на другой основе. Реляционная концепция оформилась как учение, имеющее строгое математическое обоснование в теории относительности А.Эйнштейна (1879-1955 гг.). Специальная теория относительности (СТО), принципы которой Эйнштейн сформулировал в 1905 г., представляет собой современную физическую теорию пространства и времени, в которой, как и в классической ньютоновской механике, предполагается, что время однородно, а пространство однородно и изотропно. Специальная теория относительности потребовала отказа от привычных классических представлений о пространстве и времени, поскольку они противоречили принципу постоянства скорости света. Потеряло смысл не только абсолютное пространство, но и абсолютное время.

4.2. Специальная теория относительности (СТО)

Предпосылкой к созданию теории относительности явилось развитие электродинамики в XIX веке. Результатом обобщения и теоретического осмысления экспериментальных фактов и закономерностей в областях электричества и магнетизма стали уравнения Максвелла, описывающие эволюцию электромагнитного поля и его взаимодействие с зарядами и токами.

Из уравнений Максвелла следовало, что скорость распространения электромагнитного поля в пустоте постоянна и равна скорости света. Этот факт не совместим с принципом относительности Галилея. Аналогичной оказалась и ситуация с магнитостатическими решениями, вытекающими из уравнений Максвелла. Статические магнитные поля и силы Лоренца, действующие на движущиеся в магнитных полях заряды, зависят от скоростей зарядов по отношению к наблюдателю, то есть уравнения Максвелла оказались неинвариантными относительно преобразований Галилея, что противоречило классической механике.

Специальная теория относительности была разработана в начале XX века усилиями Хендрика Лоренца, Жюль Анри Пуанкаре, Альберта Эйнштейна и других ученых. Экспериментальной основой для создания СТО послужил опыт Майкельсона. Его результаты оказались неожиданными для классической физики своего времени: *независимость скорости света от системы отсчёта*. Попытка проинтерпретировать этот результат в начале XX века вылилась в пересмотр классических представлений не только электромагнетизма, но и всей механики вообще, и привела к созданию СТО.

Основу СТО, сформулированной в 1905г Эйнштейном, составляют два постулата (принципа):

1. Принцип относительности Эйнштейна:

> *все физические процессы при одних и тех же условиях в инерциальных системах отсчета (ИСО) протекают одинаково.*

Это означает, что *никакими физическими опытами, проведенными внутри замкнутой ИСО, нельзя установить, покоится ли она или движется прямолинейно и равномерно*.

Все ИСО равноправны, а физические законы инвариантны по отношению к выбору ИСО (т.е. уравнения, выражающие эти законы, имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета).

Этот принцип явился обобщением принципа относительности Галилея на любые физические явления.

2. Принцип постоянства скорости света:

Скорость света в вакууме постоянна и не зависит от скорости движения источника и приемника света. Она одинакова во всех направлениях и во всех инерциальных системах отсчета.

Скорость света в вакууме – предельная скорость передачи сигнала. Это одна из важнейших физических постоянных, так называемых мировых констант ($c = 300000$ км/с). Этот принцип противоречит закону сложения скоростей в классической механике.

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

Релятивистская механика *описывает механические процессы, в которых скорости тел* (υ) *сопоставимы со скоростью света в вакууме* (c).

В СТО между координатами и временем в двух ИСО существуют соотношения, называемые *преобразованиями Лоренца*. Если система K' движется относительно неподвижной системы K вдоль оси X, (рис. 4.1), то их можно записать в виде

$$x = \frac{x' + \upsilon t'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}},\ y = y',\ z = z',\ t = \frac{t' + \dfrac{x'\upsilon}{c^2}}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}, \qquad (4.1)$$

где x, y, z – пространственные координаты относительно системы K; x', y', z' – пространственные координаты относительно системы K'; t – время, измеренное в системе K; t' – время, измеренное в системе K'; υ – скорость системы K' в направлении оси X, измеренная в системе K; c – скорость света в вакууме.

При малых скоростях (по сравнению со скоростью света), т.е. когда $\upsilon << c$ преобразования Лоренца переходят в классические преобразования Галилея (в этом заключается *принцип соответствия*). При $\upsilon > c$, выражения (4.1) теряют физический смысл (становятся мнимыми). Это означает, что движение со скоростью, большей скорости света в вакууме, невозможно.

Из формулы (4.1) следует, что пространственные и временные преобразования не являются независимыми. Действительно, в закон преобразования координат входит время, а в закон преобразования времени – пространственные координаты. Таким образом, преобразования Лоренца, связывающие пространственные координаты и время, исторически стали основой для формирования концепции *единого четырехмерного пространства–времени*.

К наиболее распространённым эффектам СТО, также называемым *релятивистскими эффектами*, относят:

● *эффект релятивистского замедления хода движущихся часов* относительно неподвижных

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}, \qquad (4.2)$$

где τ_0 – промежуток времени, отсчитанный по часам, движущимся вместе с объектом со скоростью υ (собственное время), т.е. в системе отсчёта K'; τ – промежуток времени, отсчитанный по часам в неподвижной системе отсчёта K.

Из формулы (4.2) следует, что собственное время меньше времени, отсчитанного по часам в неподвижной системе отсчёта, т.е. физические процессы в движущейся системе отсчёта замедляются (относительно неподвижной системы). Разумеется, это становится заметным только при скоростях, соизмеримых со скоростью света. Замедление хода времени подтверждается в ядерной физике, в частности, в опытах с мюонами. Относительностью промежутков времени объясняется и так называемый **«парадокс близнецов»**, часто обыгрывающийся в научно-популярной или научно-фантастической литературе. Он заключается в том, что *если один близнец остаётся на Земле (неподвижная система отсчёта), а другой улетает на ракете (движущаяся система отсчёта), движущейся со скоростью близкой к скорости света, то, возвратившись на Землю, он констатирует,*

что его брат-близнец стал намного старше его. В ракете промежуток времени, прожитый одним из близнецов, составил τ_0, а для брата на Земле он оказался равным τ, причём $\tau > \tau_0$.

● *эффект релятивистского сокращения продольных размеров движущихся объектов*

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}\,. \tag{4.3}$$

Из формулы (4.3) следует, что длина l тела в системе отсчёта K, относительно которой оно движется, меньше его длины l_0 в системе отсчёта K', относительно которой тело покоится. Поперечные размеры тела не изменяются.

● *зависимость массы релятивистской частицы от скорости её движения*

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}, \tag{4.4}$$

где m_0 – масса покоя частицы (масса частицы в системе отсчёта K'), а m – масса частицы, движущейся со скоростью υ (масса движения) в системе отсчёта K.

Из выражения (4.4) следует, что релятивистская масса движущейся частицы больше массы покоя.

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

Зависимость массы частиц от скорости была обнаружена в конце XIX в. в опытах с быстрыми электронами.

● *релятивистский закон сложения скоростей*

$$u_x = \frac{u'_x + \upsilon}{1+\frac{u'_x\upsilon}{c^2}}, \tag{4.5}$$

где u_x – скорость объекта относительно неподвижной системы отсчета K; u'_x – скорость объекта в подвижной системе отсчета K'; υ – скорость подвижной системы K' относительно неподвижной системы K; c – скорость света в вакууме.

Если u'_x и υ намного меньше c, то релятивистский закон сложения скоростей переходит в классические преобразования Галилея для скоростей. Из (5) следует, что если скорость частицы относительно какой-либо инерциальной системы отсчёта равна скорости света в вакууме, то она будет такой же относительно любой другой ИСО. Более того, при $u'_x = c$ и $\upsilon = c$

$$u_x = \frac{c + c}{1 + \frac{cc}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c .$$

Формула (4.5) не позволяет получить скорость, превышающую скорость света ни при каких реальных величинах «складываемых» скоростей. Это утверждение находится в соответствии со вторым постулатом СТО.

● *Эквивалентность энергии и массы*

$$E = mc^2 . \qquad (4.6)$$

Массе m соответствует определённая энергия E.

Согласно формуле (4.6), какие бы взаимные превращения разных видов материи ни происходили, изменению энергии в системе соответствует эквивалентное изменение массы. Энергия и масса являются двумя однозначно связанными характеристиками материи. Уравнение (4.6) раскрывает источник энергии, используемой ядерной энергетикой. Масса продуктов радиоактивного распада, протекающего в ядерном реакторе, меньше массы исходного вещества. Эта разность называется *дефектом массы*. Дефект массы Δm, помноженный на большую величину (квадрат скорости света), обусловливает возможность выделения громадной энергии $\Delta E = \Delta mc^2$, которая и производится в ядерном реакторе АЭС. Практика использования ядерной энергии является одним из самых наглядных и убедительных свидетельство справедливости СТО.

4.3. Основные идеи общей теории относительности (ОТО)

Идеи СТО получили дальнейшее развитие и конкретизацию в общей теории относительности, которая была создана Эйнштейном в 1916 году. ОТО обобщила СТО на ускоренные, т.е. неинерциальные системы отсчета.

В основе ОТО лежит экспериментальный факт равенства инертной массы (входящей во второй закон Ньютона) и гравитационной массы (входящей в закон тяготения) для любого тела, приводящий к **принципу эквивалентности**:

> *ускоренное движение физически полностью эквивалентно покою в гравитационном поле (т.е. они не различимы никакими измерениями).*

Пользуясь принципом эквивалентности, можно заменить любую неинерциальную (ускоренную) систему отсчёта эквивалентной ей инерциальной системой, в которой имеется гравитационное поле.

Равенство инертной и гравитационной масс проявляется в том, что движение тела в поле тяготения не зависит от его массы. Тяготение совершенно одинаково действует на разные тела, сообщая им, одинаковые ускорения независимо от массы, химического состава и других свойств тел. Так, на поверхности Земли все тела падают под влиянием её поля тяготения с одинаковым ускорением – *ускорением свободного падения*. Если все тела в одной и той же точке пространства получают одинаковое ускорение, то это ускорение можно связать не со свойствами тел, а со свойствами самого пространства в этой точке.

Принцип эквивалентности утверждает эквивалентность пространственно-временных отношений (ускоренное движение – не что иное, как определенная зависимость пространственных координат от времени) материальному объекту (гравитационное поле – это материальный объект, обладающий определенной структурой, энергией). Таким образом, в ОТО размывается сама грань между пространством-временем и материей. *Пространство-время неразрывно связано с движущейся материей.*

В соответствии с принципом эквивалентности общая теория относительности трактует гравитационное взаимодействие (тяготение) как результат искривления пространства-времени вокруг материальных тел. Искривление пространства означает отличие его геометрических свойств от теорем геометрии Евклида. Искривление времени сводится к изменению его темпа, причем разному в разных точках пространства. Правильнее же рассматривать искривление всего четырехмерного пространства-времени как целого. Оно описывается знаменитыми *уравнениями Эйнштейна*, которые *связывают между собой свойства материи, присутствующей в искривленном пространстве-времени, с его кривизной*

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} = \chi T_{ik}, \qquad (4.7)$$

где R_{ik} – тензор Риччи, получающийся из тензора кривизны пространства-времени посредством свертки его по паре индексов; R – скалярная кривизна, то есть свернутый тензор Риччи; g_{ik} – дважды ковариантный метрический тензор; T_{ik} – тензор энергии-импульса материи. (Тензор – *математический термин, обозначающий особого рода величины, преобразующиеся по особому закону)*.

В левой части уравнения (4.7) стоят геометрические величины, описывающие, как именно искривлено пространство-время. Величина T_{ik} в правой части описывает распределение и движение материальных тел. Чем массивнее тело, тем больше T_{ik} и тем сильнее искривлено пространство-

время в окрестности тела. Коэффициент пропорциональности χ содержит скорость света в вакууме c и постоянную G из закона всемирного тяготения.

Таким образом, в ОТО одно лишь присутствие материальных объектов изменяет свойства пространства-времени. И наоборот, геометрия пространства–времени влияет на характер движения тел. С точки зрения ОТО Земля обращается вокруг Солнца не потому, что оно её притягивает, а потому, что присутствие Солнца искривило пространство-время настолько, что траектория свободного (по инерции) движения Земли из прямой превратилась в замкнутый эллипс.

Из ОТО был получен ряд важных выводов:

1. Геометрия пространства–времени определяется характером поля тяготения, которое, в свою очередь, определёно взаимным расположением тяготеющих масс. Вблизи больших тяготеющих масс происходит искривление пространства, и замедление хода времени.

2. Пространство и время – не самостоятельные субстанции, а формы существования единственной субстанции – движущейся материи.

Наиболее убедительными экспериментальными подтверждениями ОТО являются:

1. Дополнительный сдвиг перигелия орбиты Меркурия по сравнению с предсказаниями механики Ньютона.

И ОТО, и ньютоновская механика утверждают, что планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, но ОТО уточняет: сами эти эллипсы должны медленно вращаться. Сильнее всего этот эффект проявляется для Меркурия, ближайшей к Солнцу планеты: его орбита делает один полный оборот за 3 млн. лет. Это явление, которое астрономы обнаружили ещё до Эйнштейна и над причиной которого долго ломали голову, оказалось хорошо согласующимся с предсказаниями ОТО.

2. *Отклонение светового луча в гравитационном поле Солнца.*

ОТО предсказывает, что луч света, проходя рядом с Солнцем, должен отклониться из-за искривления пространства-времени на $\alpha = 1{,}75$ угловой секунды. В 1919 г. это явление было подтверждено астрономическими наблюдениями звёзд во время полного солнечного затмения (рис. 4.2).

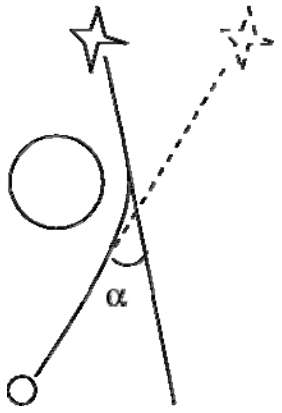


Рис. 4.2. Искривление луча света вблизи Солнца

3. Гравитационное красное смещение, или замедление времени в гравитационном поле.

Согласно формулам ОТО, время течёт медленнее в более сильных полях тяготения. Непосредственно связанный с этим эффект – *гравитационное красное смещение света* (уменьшение частоты света относительно локаль-

ных часов; соответственно, смещение линий к красному концу спектра относительно локальных масштабов при удалении от гравитирующего тела). Гравитационное красное смещение было обнаружено в спектрах звёзд и Солнца и надежно подтверждено в контролируемых земных условиях в эксперименте сотрудников Гарвардского университета Роберта Паунда и Глена Ребки (1960 г.).

Кроме перечисленных, существует множество других эффектов, поддающихся экспериментальной проверке. Среди них: отклонение и запаздывание электромагнитных волн в гравитационном поле Солнца и Юпитера (*эффект Шапиро*); прецессия гироскопа вблизи вращающегося тела (*эффект Лензе-Тирринга*); астрофизические доказательства существования чёрных дыр; доказательства излучения гравитационных волн тесными системами двойных звёзд и расширение Вселенной.

До сих пор надёжных экспериментальных свидетельств, опровергающих общую теорию относительности, не обнаружено. Для указанных выше трёх классических явлений отклонения измеренных величин эффектов от предсказываемых ОТО не превышают 0,1 %.

ОТО стала последней крупной теорией, созданной в рамках электромагнитной картины мира.

В современном естествознании пространство и время – общие формы координации материальных объектов и их состояний.

4.4. Современные представления о пространстве и времени

Пространство – это совокупность отношений, выражающих координацию сосуществующих объектов, их расположение друг относительно друга и относительную величину (расстояние и ориентацию).

Пространство:

– трёхмерно (трёхмерность пространства принимается как опытный факт);

– однородно (равноправие всех его точек);

– изотропно (равноправие всех его направлений).

Время – совокупность отношений, выражающих координацию сменяющих друг друга состояний (явлений), их последовательность и длительность.

Время:

– одномерно;

– однородно (равноправие всех моментов времени);

– необратимо.

Из всеобщих свойств пространства и времени следует, прежде всего, отметить:

1) объективность пространства и времени (независимость от человеческого сознания и сознания всех других разумных существ в мире, если такие есть);

2) абсолютность пространства и времени (они являются универсальными формами бытия материи, проявляющимися на всех структурных уровнях её существования);

3) неразрывную связь друг с другом и с движущейся материей;

4) единство прерывности и непрерывности в их структуре (наличие отдельных тел, фиксированных в пространстве при отсутствии каких-либо разрывов).

Вопросы для самопроверки

1. Субстанциальная и реляционная концепции пространства и времени.
2. Постулаты специальной теории относительности.
3. Следствия из специальной теории относительности.
4. Основные выводы специальной теории относительности.
5. Постулаты общей теории относительности.
6. Основные выводы общей теории относительности.

Экспериментальное подтверждение общей теории относительности

5. СИММЕТРИЯ. ПРИНЦИПЫ СИММЕТРИИ

5.1. Понятие симметрии

Одним из важных открытий современного естествознания является тот факт, что все многообразие окружающего нас физического мира связано с тем или иным нарушением определенных видов симметрий.

Зеркальная симметрия в геометрии относится к операциям отражения или вращения. Она достаточно широко встречается в природе. Наибольшей симметрией в природе обладают кристаллы (например, симметрия снежинок, природных кристаллов), однако не у всех из них наблюдается зеркальная симметрия. Известны так называемые оптически активные кристаллы, которые поворачивают плоскость поляризации падающего на них света.

В общем случае симметрия выражает степень упорядоченности какой-либо системы или объекта. Например, круг более упорядочен и, следовательно, симметричен, чем квадрат. В свою очередь, квадрат более симметричен, чем прямоугольник.

Другими словами, **симметрия** – *это неизменность (инвариантность) объектов или их свойств относительно каких-либо преобразований*.

Например, окружность симметрична относительно любой прямой (оси симметрии), лежащей в ее плоскости и проходящей через центр, она симметрична и относительно центра. Операциями симметрии в данном случае будут зеркальное отражение относительно оси и вращение относительно центра окружности.

В широком смысле **симметрия** – *это понятие, отображающее существующий в объективной действительности порядок, определенное равновесное состояние, относительную устойчивость, пропорциональность и соразмерность между частями целого.*

Противоположным понятием является понятие асимметрии, которое отражает существующее в объективном мире нарушение порядка, равновесия, относительной устойчивости, пропорциональности и соразмерности между отдельными частями целого, связанное с изменением, развитием и организационной перестройкой. Уже отсюда следует, что асимметрия может рассматриваться как источник развития, эволюции, образования нового.

Симметрия может быть не только геометрической. Различают геометрическую и динамическую формы симметрии (и, соответственно, асимметрии).

К геометрической форме симметрии (внешние симметрии) относятся свойства пространства – времени, такие как однородность пространства и времени, изотропность пространства, эквивалентность инерциальных систем отсчета и т.д.

К динамической форме относятся симметрии, выражающие свойства физических взаимодействий, например, симметрии электрического заряда, симметрии спина и т.п. (внутренние симметрии). Современная физика, однако, раскрывает возможность сведения всех симметрий к геометрическим симметриям.

5.2. Симметрия пространства – времени и законы сохранения

Одной из важнейших особенностей геометрических симметрий является их связь с законами сохранения. Значение законов сохранения (законы сохранения импульса, энергии, заряда и др.) для науки трудно переоценить. Дело в том, что понятие симметрии применимо к любому объекту, в том числе и к физическому закону. Вспомним, что согласно принципу относительности Эйнштейна, все физические законы имеют одинаковый вид в любых инерциальных системах отсчета. Это означает, что они симметричны (инвариантны) относительно перехода от одной инерциальной системы к другой.

Наиболее общий подход к взаимосвязи симметрий и законов сохранения содержится в знаменитой теореме Э. Нетер. В 1918 г., работая в составе группы по проблемам теории относительности, она доказала теорему, упрощенная формулировка которой гласит:

> *если свойства системы не меняются относительно какого-либо преобразования переменных, то этому соответствует некоторый закон сохранения.*

Рассмотрим переходы от одной инерциальной системы к другой. Поскольку есть разные способы таких переходов, то, следовательно, есть различные виды симметрии, каждому из которых, согласно теореме Нетер, должен соответствовать закон сохранения.

Переход от одной инерциальной системы (ИСО) к другой можно осуществлять следующими преобразованиями:

1. *Сдвиг начала координат.* Это связано с физической эквивалентностью всех точек пространства, т.е. с его однородностью. В этом случае говорят о симметрии относительно переносов в пространстве.

2. *Поворот тройки осей координат*. Эта возможность обусловлена одинаковостью свойств пространства во всех направлениях, т.е. изотропностью пространства и соответствует симметрии относительно поворотов.

3. *Сдвиг начала отсчета по времени, соответствующий симметрии относительно переноса по времени*. Этот вид симметрии связан с физической эквивалентностью различных моментов времени и однородностью времени, т.е. его равномерным течением во всех инерциальных системах отсчета. Смысл эквивалентности различных моментов времени заключает-

ся в том, что все физические явления протекают независимо от времени их начала (при прочих равных условиях).

4. *Равномерное прямолинейное движение начала отсчета со скоростью* $\vec{\upsilon}$*, т.е. переход от покоящейся системы к системе, движущейся равномерно и прямолинейно*. Это возможно, т.к. такие системы эквивалентны. Такую симметрию условно называют изотропностью пространства-времени. Переход же осуществляется с помощью преобразований Галилея или преобразований Лоренца.

Важно отметить, что физические законы не являются симметричными относительно вращающихся систем отсчета. Вращение замкнутой системы отсчета можно обнаружить по действию центробежных сил, изменения плоскости качания маятника и др. 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.

Описанные выше 4 вида симметрии являются универсальными. Это означает, что все законы Природы относительно них инвариантны с большой степенью точности, а соответствующие им законы являются фундаментальными. К этим законам относятся соответственно:

1. Закон сохранения импульса как следствие однородности пространства.
2. Закон сохранения момента импульса как следствие изотропности пространства.
3. Закон сохранения энергии как следствие однородности времени.
4. Закон сохранения скорости центра масс (следствие изотропности пространства–времени).

Как уже было сказано ранее, описанные виды симметрий относятся к геометрическим. Связь с законами сохранения обнаруживают и динамические симметрии. С динамическими симметриями связан закон сохранения электрического заряда (при превращении элементарных частиц сумма электрических зарядов частиц остается неизменной), закон сохранения лептонного заряда (при превращении элементарных частиц сумма разность числа пептонов и антилептонов не меняется) и т.д.

При рассмотрении действия тех или иных фундаментальных законов не следует забывать, что каждому виду симметрии соответствует своя асимметрия. Асимметричные условия исключают наличие резкой грани между законами и условиями их действия. Поэтому содержание законов всегда должно включать определенные моменты асимметричных условий.

5.3. Симметрия и асимметрия живого

Мелкие организмы, взвешенные в воде, имеют почти шарообразную форму. У организмов, живущих в морских глубинах и подверженных вы-

сокому 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.

Современное естествознание пришло еще к одному важному открытию, связанному с симметрией и касающемуся отличия живого от неживого. Дело в том, что «живые» молекулы, т.е. молекулы органических веществ, составляющих живые организмы и полученные в ходе жизнедеятельности, отличаются от «неживых», т.е. полученных искусственно, зеркальной симметрией. Неживые молекулы могут быть как зеркально симметричны, так и зеркально асимметричны, как, например, левая и правая перчатка. Это свойства зеркальной асимметрии молекул называется хиральностью (от греч. *cheiros* – рука). Неживые хиральные морекулы встречаются в Природе как в «левом» так и в «правом» варианте, т.е. они хирально нечистые. «Живые» молекулы могут быть только одной ориентации – «левой» или «правой», т.е. здесь говорят о хиральной чистоте живого. Например, молекула ДНК, как известно, имеет вид спирали, и эта спираль всегда правая. У глюкозы, образующейся в организме – правовращающая форма, у фруктозы – левовращающая.

Следовательно, важнейшая способность живых организмов – создавать кирально чистые молекулы. По современным представлениям именно киральность молекул определяет биохимическую границу между живым и неживым.

5.4. Нарушение симметрии как источник самоорганизации

Взаимосвязь симметрии и асимметрии рассматривается современной наукой в различных аспектах, охватывающих саморазвитие материи на всех ее структурных уровнях. Так современное синергетическое видение эволюции Вселенной основано на идее о т.н. спонтанном нарушении симметрии исходного вакуума. Под исходным вакуумом понимают состояние материи до Большого Взрыва, когда вся материя была представлена физическим вакуумом. В настоящее время считается, что истинный физический вакуум – это состояние материи с наименьшей энергией. Идея спонтанного нарушения симметрии исходного вакуума означает отход от общепринятого представления о вакууме как о состоянии, в котором значение энергии всех физических полей равно нулю. Здесь признается возможность существования состояний с наименьшей энергией при отличном от нуля значении некоторых физических полей и возникает представление о существо-

вании вакуумных конденсатов – состояний с отличным от нуля средним значением энергии. Спонтанное нарушение симметрии означает, что при определенных макроусловиях фундаментальные симметрии оказываются в состоянии неустойчивости, а платой за устойчивое состояние является асимметричность вакуума. (Для такого вакуума введен термин «ложный вакуум»).

Один из наиболее вероятных сценариев эволюции Вселенной включает инфляционную стадию (раздувание) от «ложного вакуума» – вакуума, обладающего огромной энергией. Такой вакуум обладает стремление к гравитационному отталкиванию, обеспечивающему его расширение. «Ложный» вакуум представляет собой симметричное, но энергетически невыгодное, а следовательно, нестабильное состояние. В свете инфляционной теории эволюция Вселенной предстает как синергетический самоорганизующийся процесс. Если считать Вселенную замкнутой системой, то процессы самоорганизации могут быть рассмотрены как взаимодействие двух открытых подсистем – физического вакуума и всевозможных микрочастиц и квантов полей. Согласно этой теории в процессе расширения из «суперсимметричного» состояния Вселенная разогрелась до температуры, соответствующей Большому Взрыву. Дальнейшее ее развитие по мере падения температуры пролегало через критические точки бифуркации (ветвления), в которых происходили спонтанные нарушения симметрий исходного вакуума. Схематично этот процесс представляется в следующем (весьма упрощенном) виде:

1-я бифуркация: нарушение симметрии (тождества) между бозонами и фермионами привело к разделению материи на вещество и поле;

2-я бифуркация: нарушение тождества между кварками и лептонами; симметрия Вселенной нарушается до симметрии, отвечающей сильным взаимодействиям и симметрии, отвечающей электрослабым взаимодействиям; нарушается также симметрия между веществом и антивеществом: частиц вещества рождается больше, и вся наша Вселенная оказывается построенной из вещества;

3-я бифуркация: спонтанное нарушение симметрии электрослабого взаимодействия, что обнаруживается нами в виде различия между электромагнитным и слабым взаимодействием.

4-я бифуркация: возникают протоны и нейтроны.

Дальнейшая эволюция Вселенной приводит к возникновению водорода, гелия, ионизованного газа, звезд, галактик и т.д.

Спонтанное нарушение симметрии вакуума выражается в том, что он отдает энергию на рождение микрообъектов, на приобретение их масс и зарядов, вследствие чего плотность энергии вакуума уменьшается.

Важным здесь является и то, что ход этой эволюции, выбор пути развития в моменты бифуркаций оказался именно таким, что в результате появилась именно такая Вселенная, какую мы наблюдаем, т.е. Вселенная, в

которой оказалась возможной жизнь нашего типа и появление самого наблюдателя (антропный принцип).

5.5. Асимметрия и жизнь

Открытие хиральной чистоты молекул биогенного происхождения проливает новый свет на возникновение жизни на Земле, которое могло быть вызвано спонтанным нарушением существующей до того зеркальной симметрии. Факторами возникновения асимметрии могли быть радиация, температура, давление, воздействие электромагнитных полей и др. Возможно, что жизнь на Земле зародилась в виде структур, схожих с генами современных организмов. Это мог быть акт самоорганизации материи в виде скачка, а не постепенной эволюции. В связи с этим говорят о Большом Биологическом Взрыве.

Исследования показывают, что в ходе развития жизни асимметрия все больше и больше вытесняет симметрию из биологических и химических процессов. Внешне симметричные полушария головного мозга различаются по своим функциям. Явно асимметричным признаком является разделение полов – достаточно «позднее приобретение» эволюции, причем каждый пол вносит в процесс воспроизведения свою генетическую информацию. Симметрия и асимметрия живого проявляются и в важнейших факторах эволюции. Так в устойчивости видов (наследственность) проявляется симметрия, а в их изменчивости – асимметрия.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте различные толкования понятия «симметрия».
2. Что такое геометрическая симметрия (геометрическая форма симметрии)?
3. Что такое динамическая форма симметрии?
4. Приведите упрощенную формулировку теоремы Нетер.
5. Перечислите виды переходов от одной ИСО к другой.
6. Чем обусловлена возможность перехода от одной ИСО к другой путем поворота системы координат?
7. С какой симметрией связан закон сохранения импульса?
8. С какой симметрией связан закон сохранения энергии?
9. С какой симметрией связан закон сохранения момента импульса?
10. Как проявляются симметрия и асимметрия в мире живого?
11. Что такое хиральная чистота живого?
12. Что такое «ложный» вакуум, чем он отличается от «истинного»?
13. Опишите кратко начальную стадию развития Вселенной с точки зрения нарушения исходных симметрий.
14. Как изменяется соотношение симметрии и асимметрии в процессе биологической эволюции?

6. МЕХАНИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

6.1. История формирования механической картины мира

6.1.1. Формирование физических представлений в античную эпоху (VI в. до н.э. –V в. н.э.)

Первые научные представления о мире, на основе которых была разработана механическая картина мира (МКМ), были сформулированы античными мыслителями Древней Греции в VII-VI вв. до н.э. Ученым этой эпохи были доступны лишь простые наблюдения за природными явлениями, на основе которых выдвигались гипотезы и проводились логические рассуждения. Не удивительно, что их представления часто оказывались неверными. Вместе с тем, иногда ими высказывались гениальные догадки, которые на многие столетия опережали результаты конкретных исследований. Одной из таких догадок является *атомистическая гипотеза строения вещества*, составляющая основу механической картины мира.

Эта гипотеза была выдвинута основателем древнегреческого материализма – Левкиппом (500–440 гг. до н.э.). Он сформулировал основное положение атомистики – *все тела состоят из простых неделимых микрочастиц*.

Гипотеза Левкиппа была детально обоснована его учеником Демокритом (ок. 460–370 гг. до н.э.), который ввёл понятие *атом* (от греч. *atomos* – «нерассекаемый»). Согласно Демокриту, в мире есть лишь два «начала»: пустота (небытие) и атомы (бытие). Пустота неподвижна и безгранична, в ней нет ни «верха», ни «низа», ни центра. В бесконечно пустом пространстве в различных направлениях беспорядочно движутся атомы.

> *Атомы представляют собой мельчайшие, неизменные, непроницаемые и абсолютно неделимые частицы вещества – «кирпичики мироздания».*

Они вечны, неизменны и разнообразны по форме (шарообразные, угловатые, крючкообразные, вогнутые, выпуклые) и по величине. Размеры атомов настолько малы, что они недоступны для восприятия органами чувств человека. Атомы имеют зацепки, которые позволяют им при столкновениях скрепляться и образовывать различные тела.

Демокрит считал, что из атомов образуются не только предметы, окружающие человека, но и целые миры, которых во Вселенной бесчисленное множество. Миры преходящи: одни из них только возникают, другие находятся в расцвете, а третьи уже разрушаются. Новые тела и миры возникают от сложения атомов, уничтожаются они от разложения на атомы.

Идеи Демокрита развил Эпикур (341-270 гг. до н.э.). Он, полагал, что атомы отличаются не только по форме и величине, но и *по весу*, что явилось предвосхищением их характеристики в новейшем атомистическом

материализме. Существенной характеристикой атомов он считал *движение*. Атомы вечно движутся в пустоте с одинаковой для всех быстротой. В этом их движении некоторые атомы находятся на большой дистанции один от другого, другие же сплетаются друг с другом и приобретают дрожательное, колебательное движение. Эпикур рассматривал три вида движения атомов: общее движение вниз под действием тяжести по параллельным линиям; самопроизвольные отклонения от прямолинейного пути; столкновение атомов друг с другом.

В отличие от Демокрита, утверждавшего, что движение атомов в пустоте определяется внешней механической необходимостью, Эпикур полагал, что для самоотклонения атомов от прямолинейных траекторий не существует никаких внешних причин, никакой необходимости, оно происходит совершенно спонтанно. Если бы атомы не отклонялись от своих прямых путей, то не было бы возможным ни их столкновение, ни столкновение образованных из них вещей. Он дополнил взгляды Демокрита совершенно новым понятием – *притяжением атомов*.

Атомистика древних греков сыграла выдающуюся роль в развитии представлений о структуре материи. Признавая вечными материю и движение, она была, по существу, конструктивной альтернативой религии. После длительного средневекового застоя в науке идеи атомизма были возрождёны работами Галилео Галилея, Френсиса Бекона, Пьера Гассенди, Роберта Бойля, Исаака Ньютона. И сейчас, через 2500 лет после ее возникновения, программа атомизма (применяемая уже не к атомам, а к элементарным частицам, из которых они состоят) является краеугольным основанием естествознания.

Одним из явлений, интересовавших древнегреческих учёных в первую очередь, было *движение*. Их представления о механическом движении были обобщёны в достаточно сложной форме философом Аристотелем (384–322 до н.э.).

Суммировав труды греческих философов – атомистов, Аристотель создал список четырех основных элементов мира (фундаментальных видов материи): «земля», «вода», «воздух», «огонь». Он утверждал, что каждый из них *имеет своё собственное естественное место* во Вселенной. Элемент «земля», в который были включёны все твёрдые материалы, был расположен в центре Вселенной. Элемент «вода» располагался естественным образом относительно поверхности сферы «земли», элемент «воздух» располагался естественным образом относительно поверхности сферы «воды», элемент «огонь» располагался естественным образом относительно поверхности сферы «воздуха». Рассуждение Аристотеля о том, что каждый из видов материи имеет своё естественное место во Вселенной, – типичный пример *аксиомы*.

Движение Аристотель понимал предельно широко – как возникновение и уничтожение определённых тел, их рост или уменьшение, изменение качества и, наконец, как перемену места, перемещение.

Все механические движения Аристотель разбивал на две большие группы: *совершенные круговые движения небесных тел* и *несовершенные движения земных предметов*. Он считал, что небесные движения вечны и неизменны, не имеют начала и конца, а земные движения имеют начало и конец и делятся на *естественные* и *насильственные*.

Естественное движение – это движение тела к своему месту, например, тяжелого тела вниз, а легкого – вверх. Тела, состоящие из элементов «земли», стремятся вниз, а тела, образованные из «воздуха» или «огня», – вверх. Естественное движение происходит само собой, оно не требует приложения силы.

Все прочие движения на Земле требуют приложения силы, направлены против природы тел и являются *насильственными*. Аристотель не знал закона инерции. Он полагал, что любые насильственные движения, даже равномерные и прямолинейные, происходят под действием силы. Доказывая вечность движения, он отвергал идею о самодвижении материи. Основной принцип динамики Аристотеля: «*Все, что находится в движении, движется благодаря воздействию других тел, а мир в целом приводится в движение неким перводвигателем*». Перводвигатель неподвижен (в противном случае был бы первоперводвигатель) и вечен (ибо движение, вызываемое им, вечно).

Аристотель считал, что скорость движения пропорциональна действующей силе.

С концепцией движения он связывал представление о *физическом взаимодействии*. При этом он понимал *взаимодействие как одностороннее воздействие движущего тела на движимое.* Это прямо противоречит хорошо известному сегодня третьему закону Ньютона.

Учение Аристотеля *о пространстве и времени* исходит из понятия непрерывности. Поэтому пространство для него – это *протяженность тел*, а время – *длительность событий*. Пространство и время Аристотеля существуют только вместе с материей, поэтому его концепция пространства и времени может быть названа *относительной*.

Аристотель полагал, что материя делима до бесконечности и отрицал существование пустоты. Он считал, что весь Космос (небеса и небесные тела) сделан из материи, которая не является ни «землёй», ни «водой», ни «воздухом», ни «огнём». Этот пятый элемент, из которого состоят небеса, он назвал «эфиром» (от греч. *aither* – «сверкание»). По представлению древних греков, «эфир» – пламенеющий воздух, в котором вращаются звезды и живут боги. Эфир вечен, он не изменяется и не превращается в

другие элементы. Космос не однороден, в нем есть центр и периферия, верх и низ.

Космология Аристотеля носила *геоцентрический* характер. Он считал, что в центре мира находится *неподвижная шарообразная Земля*. Вокруг неё вращаются сферы, к которым прикреплёны небесные светила. Самая удалённая – сфера неподвижных звёзд. Она является границей Космоса. Ближайшая к Земле – сфера Луны, отделяющая *надлунный мир* совершенных круговых движений от несовершенного *подлунного мира*. Надлунные тела построены из вечного, неуничтожимого «эфира». Вне сферы неподвижных звёзд нет ни времени, ни пространства, ни пустоты, а есть только нематериальный неподвижный вечный перводвигатель, в понимании Аристотеля – *Бог*. Он приводит в движение сферу неподвижных звёзд. Движение этой сферы передается другим сферам, все ниже и ниже, вплоть до Земли, где вследствие несовершенства подлунных элементов совершенное круговое движение распадается на множество несовершенных.

Космос Аристотеля вечен во времени и вечно его движение, но вечность движения является результатом вечной деятельности Бога.

Картина мироздания предложенная Аристотелем, была математически оформлена Клавдием Птолемеем (II в. н.э.). В рамках этой картины были разработаны некоторые очень ценные идеи, например, представления о шарообразности Земли, о равноправии всех перед мировыми законами, вне зависимости от того, в какой части земного шара находится человек.

Теория Аристотеля признавалась учеными на протяжении более чем двух тысяч лет. Однако она была очень сложной и ошибочной в своей основе. Это выявилось по мере накопления несоответствий геоцентризма вновь открываемым естественнонаучным фактам, прежде всего, астрономическим. В конце концов, все её положения были заменёны другими теориями, которые различались с ней практически по всем пунктам. Вовремя невыявленная несостоятельность геоцентризма объясняется тем, что экспериментальная проверка основных положений этой теории не была проведена не только Аристотелем, но и в течение двух тысяч лет после него.

Безусловно, в Древней Греции были учёные, которые экспериментировали и получали важные заключения именно в результате своих экспериментов. Например, первоклассный математик и механик Архимед (287-212 гг. до н.э.). Он разработал научные основы статики, в частности ввел понятия *центра тяжести* и предложил методы определения центра тяжести для различных тел, сформулировал правило сложения параллельных сил, дал математический вывод законов рычага. Архимеду приписывают «крылатое» выражение: «*Дайте мне точку опоры, и я сдвину Землю*».

Архимед положил начало гидростатике, которая нашла широкое применение при определении плотности тел путём взвешивания их в во-

де и расчёте грузоподъемности кораблей. В его сочинении «О плавающих телах» содержатся основные положения гидростатики, а также основной закон гидростатики – закон Архимеда:

> *на всякое тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу вытесненной им жидкости.*

Закон Архимеда оказался справедливым и для газа. С помощью этого закона Архимед решил задачу о содержании золота и серебра в короне сиракузского царя Герона.

В этом же сочинении он исследовал равновесие плавающих тел и сформулировал условия плавания тел.

Архимед явился автором многих изобретений, в том числе машины для орошения полей, винта, рычагов и блоков для подъёма больших грузов, военных метательных машин.

6.1.2. Формирование физических представлений в период средневековья (V—XIV вв.)

Дальнейшая разработка статики Архимеда была осуществлёна только во второй половине XIII в. группой ученых Парижского университета во главе с Иорданом Неморарием. Они развили античное учение о равновесии простых механических устройств, решив задачу о равновесии тел на наклонной плоскости, с которой не могла справиться античная механика.

В начале XIV века в. полемике с античными учеными рождаются новые идеи, в физике начинают использоваться математические методы, т. е. идет процесс подготовки будущего точного естествознания. Лидерство переходит к группе ученых Оксфордского университета, среди которых наиболее значительная фигура – Томас Брадвардин (1290–1349 гг.). Ему принадлежит трактат «О пропорциях» (1328 г.), который в истории науки оценивается, как первая попытка написать «Математические начала натуральной философии» (именно так почти триста шестьдесят лет спустя назовет свой знаменитый труд Исаак Ньютон).

Другой учёный Оксфорда – Уильям Гейтсбери (ок.1330 – ок. 1380 гг.), исследуя неравномерные движения, ввёл понятия *мгновенной скорости* и *ускорения*. Он впервые рассмотрел вопросы об ускорении и замедлении движения и о пути, пройденном при равноускоренном движении.

Существенный вклад в развитие механики внесли французские философы и математики Н. Орем, Ж. Буридан, А. Саксонский.

Николай Орем впервые сформулировал принцип относительности, причём в точности в том же виде, что и у Галилея в XVII столетии. Новой для своего времени была идея Орема о том, что движение планет определёно не

Богом, сотворившим Землю, а равновесием природных сил. С другой стороны Орем придерживался традиционных представлений Аристотеля о делении мира на подлунный и небесный.

Трактат Орема «О конфигурации качеств» продолжил линию исследования переменных величин, заданную оксфордскими учёными. В этом трактате он формулирует закон равнопеременного движения, связывающий путь, пройденный телом, со временем, а также изобретает графическое представление для переменной величины, зависящей от пространственных координат, либо от времени. Орем изображает движение, откладывая по горизонтальной оси время, а по вертикальной – интенсивность движения в данный момент времени (мгновенную скорость). С этого времени в научных трудах появляются графики скорости движения, и кинематические доказательства приобретают геометрический характер.

Из научных работ Жана Буридана (ок.1300 – ок.1358 гг.) особого внимания заслуживает сочинение «Вопросы к четырем книгам о небе и мире», являющееся комментарием к книге Аристотеля «О небе». В этой работе он описывает движение по инерции, используя для обозначения последнего понятие «*импетус*»: человек, бросающий камень, движет свою руку вместе с камнем, и покуда бросающий толкает камень, находясь в контакте с ним, движение является более медленным вначале, ибо тогда лишь внешний двигатель движет камень. Однако, при движении непрерывно приобретается «импетус», который вместе с вышеуказанным внешнем двигателем движет камень, в силу чего движение его становится всё более быстрым. После отрыва от бросающего, камень движет лишь приобретённый «импетус», и этот «импетус», по причине сопротивления среды, непрерывно ослабляется, поэтому движение становится всё более медленным.

Теория «*импетуса*» («движущей силы») была совершенно новой для XIV в., ведь, начиная с Аристотеля, бытовало мнение о том, что только среда (например, воздух или вода) ответственна за поддержание движения объекта. Понятие «импетуса» позволило ввести гипотезу первоначального толчка для объяснения вращения небесных сфер. Впоследствии это учение стало общепринятым в средневековых университетах.

Вопросом о природе «импетуса» задавался и Альберт Саксонский (1316–1390 гг.). Он классифицировал его (в терминах аристотелевской теории категорий) как «качество», присущее движущемуся телу. Саксонский ввёл деление движений на поступательное и вращательное, равномерное и переменное. Он установил пропорциональную зависимость между скоростью, расстоянием и временем движения. Ему принадлежит также оригинальное решение вопроса о природе *гравитации*. Проводя различие между центром тяжести и геометрическим центром тела, и замечая, что они не обязательно совпадают, он утверждал, что настоящим центром Вселенной является не центр объема Земли, а центр ее тяжести. Саксонский

полагал, что *тяготение* есть стремление каждого тела – как части мирового целого, имеющего свой центр тяжести в центре мира – соединиться с центром тяжести Земли.

Общая картина науки в эпоху средневековья характеризовалась в основном познанием отдельных явлений, её основные положения легко укладывались в умозрительные натурфилософские схемы мироздания, выдвинутые ещё в период античности (главным образом в учении Аристотеля). В таких условиях наука еще не могла подняться до раскрытия объективных законов природы. Техника развивалась очень медленно и фактически без какого-либо заметного влияния науки.

К концу этого периода, примерно к середине XV в., наметились явные признаки структуризации науки. Это было связано с переходом производства от ремесленных форм к мануфактурам. Энергетической базой производства тогда служило механическое движение: энергия воды и ветра, мускульная энергия человека и животных. Возникла необходимость установить законы механического движения. Мореплавание нуждалось в помощи астрономии. Военное дело, прежде всего, артиллерия, выдвигало необходимость решения задач баллистики. Поэтому в первую очередь стала развиваться механика. С этого времени на долгие годы вперёд естествознание стало механистическим, строящим механические модели для всех явлений природы.

6.1.3. Развитие механики в эпоху возрождения (XV—XVI вв.)

Период конца XV–XVI веков, ознаменовал переход от средневековья к Новому времени и получил название эпохи Возрождения. Она характеризовалась возрождением культурных ценностей античности (отсюда и название эпохи), расцветом искусства, утверждением идей гуманизма. Вместе с тем эпоха Возрождения отличалась существенным прогрессом науки.

Развитие механики в этот период неразрывно связано с именем Леонардо да Винчи, развившим свой метод познания природы. Он был убежден, что познание идет от частных опытов и конкретных результатов к научному обобщению и опыт является не только источником, но и критерием познания. Будучи приверженцем экспериментального метода исследования, Леонардо да Винчи исследовал падение тел и движение тела, брошенного горизонтально, явление удара, трение (определил коэффициенты трения качения и скольжения); изобрёл конусный шарикоподшипник.

Он постиг природу инерции; понимал, что действие равно противодействию и направлено против него. Близко подошёл к открытию закона сообщающихся сосудов, наблюдал поднятие жидкостей в узких трубках (явление капиллярности), изучал волны на воде, наложение волн, резонанс. Открыл существование сопротивления среды и подъёмную силу.

Леонардо да Винчи конструировал машины (летательные аппараты, ткацкие станки, печатные и деревообрабатывающие машины, приборы для шлифовки стекла, землеройные машины), что давало ему возможность более глубоко проникнуть в суть законов механики. В его рукописях даны рисунки парашюта и геликоптера (винтокрылого летательного аппарата). Он является автором ряда гидротехнических проектов и проектов металлургических печей.

В конце XV в. выходит в свет серия трудов немецкого мыслителя, философа и математика Николая Кузанского (1401–1464 гг.), в которых он развивает мысль о том, что движение является основой всего сущего, неподвижного центра во Вселенной нет. Вселенная бесконечна, Земля и все небесные тела созданы из одной и той же первоматерии.

Наиболее крупным достижением мировоззренческого характера в период Возрождения явилось создание польским монахом Николаем Коперником (1473–1543 гг.) *гелиоцентрической системы мира*.

Коперник отбросил общепринятую геоцентрическую систему мира и на основе большого числа астрономических наблюдений и расчетов создал новую, систему, в центр которой поставил абсолютно неподвижное Солнце, вокруг которого по круговым орбитам вращаются планеты. Земля является вполне рядовой планетой в их числе. Совершая обращение вокруг Солнца, Земля одновременно вращается вокруг собственной оси, чем и объясняется смена дня и ночи, и видимое движение звездного неба.

Гелиоцентрическая система мира, предложенная Коперником, не сводилась только к перестановке предполагаемого центра Вселенной. Включив Землю в число небесных тел, которым свойственно круговое движение, Коперник высказал очень важную мысль о движении как естественном свойстве небесных и земных объектов, подчиненном некоторым общим закономерностям единой механики. Тем самым было разрушено догматизированное представление Аристотеля о неподвижном «перводвигателе», якобы приводящем в движение Вселенную.

Слабой стороной взглядов Коперника было то, что он не отказался от аристотелевской идеи о конечности мироздания. Он считал, что относительно Солнца, а значит и в абсолютном смысле, звёзды неподвижны; они находятся на неподвижной твёрдой небесной сфере, являющейся краем Вселенной.

В книге Коперника «Об обращении небесных сфер» нет речи о ведущей роли тяготения, так как необходимые для понимания этого законы механики ещё не были открыты. Для этого понадобилось почти полтора столетия, в течение которых концепция гелиоцентризма была окончательно оформлена в трудах датского астронома Тихо Браге (1546–1601 гг.), итальянского мыслителя Джордано Бруно (1548–1600 гг.) и немецкого астронома Иоганна Кеплера (1571–1630 гг.).

В 1577 году Тихо Браге сумел рассчитать орбиту кометы, проходившую вблизи планеты Венера. Согласно его расчетам получалось, что эта комета должна была натолкнуться на твердую поверхность сферы, ограничивающей Вселенную, если бы таковая существовала. Таким образом, была выявлена нелепость одного из положений гелиоцентрической системы Коперника.

Джордано Бруно пошел дальше Коперника. Он, подобно Н. Кузанскому, отрицал наличие центра Вселенной и отстаивал идею о её бесконечности. Бруно говорил о существовании во Вселенной множества тел, подобных Солнцу и окружающих его планетах.

В космологии Бруно высказал ряд догадок, которые оправдались последующими астрономическими открытиями:

– о вращении Солнца вокруг своей оси;

– о существовании неизвестных в его время планет в пределах Солнечной системы;

– о том, что звёзды являются далёкими Солнцами;

– о существовании во Вселенной бесчисленного множества тел подобных нашему Солнцу и окружающих его планетах.

Инквизиция имела серьезные причины бояться распространения образа мыслей и учения Бруно. В 1592 году он был арестован и в течение восьми лет находился в тюрьме, подвергаясь допросам со стороны инквизиции. 17 февраля 1600 г., как нераскаявшийся еретик, он был сожжен на костре в Риме на площади цветов. 9 июня 1889г. на этом же месте ему поставили памятник.

6.1.4. Становление классической механики (начало XVII в. – XIX в.)

Трагическая гибель Джордано Бруно произошла на рубеже двух эпох: эпохи Возрождения и эпохи Нового времени. Последняя из них охватывает три столетия – XVII, XVIII и XIX века. В этом трехсотлетнем периоде особую роль сыграл XVII век, ознаменовавшийся рождением современной науки, у истоков которой стояли такие выдающиеся ученые, как Галилео Галилей, Иоганн Кеплер, Исаак Ньютон.

Галилео Галилей заложил основы нового механического естествознания, впервые применив для исследования явлений природы *экспериментальный метод,* включающий измерение исследуемых величин и математическую обработку результатов измерений.

Галилей ввел определения *силы*, *скорости*, *ускорения*, *равномерного движения*; понятия *средней скорости* и *среднего ускорения*. Скорость он, определял как отношение пройденного пути к затраченному времени, а силу считал векторной величиной.

До Галилея общепринятым в науке считалось понимание движения, выработанное Аристотелем: *тело движется только при наличии внешнего*

воздействия на него, и если это воздействие прекращается, тело останавливается. Галилей показал, что этот принцип Аристотеля (хотя и согласуется с повседневным опытом) является ошибочным. В многообразии движений он выделил движение по инерции, подметив свойство тел сохранять свою скорость. Галилей сформулировал закон инерции:

> *тело либо находится в состоянии покоя, либо движется, не изменяя величины и направления скорости своего движения, если на него не производится какого-либо внешнего воздействия.*

Большое значение для становления механики как науки имело экспериментальное исследование Галилеем *свободного падения тел*. Он установил, что *скорость свободного падения тел не зависит от их массы* (как думал Аристотель), а *пройденный падающим телом путь пропорционален квадрату времени падения*. Галилей сформулировал аксиому о том, что *свободно падающее тело движется с постоянным ускорением и конечная скорость тела, падающего из состояния покоя с высоты* H, *связана с этой высотой уравнением* $\upsilon^2 = \sqrt{2gH}.$ Он доказал, что траектория падающего тела отклоняется от вертикали из-за сопротивления воздуха; в безвоздушном пространстве тело падает точно под точкой, из которой началось падение.

Галилей показал, что траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту, является параболой. Ему принадлежит экспериментальное обнаружение весомости воздуха, открытие законов колебаний маятника и законов движения тел по наклонной плоскости.

В своем знаменитом труде «Диалог о двух главнейших системах мира: птолемеевой и коперниковой» (1632 г.) Галилей сформулировал механический принцип относительности:

> *внутри равномерно движущейся (так называемой инерциальной) системы все механические процессы протекают так же, как и внутри покоящейся.*

Росту научного авторитета Галилея способствовали его астрономические исследования, описанные в труде «Звездный вестник». Они явились подтверждением гелиоцентрической системы Коперника. Используя построенные им телескопы (вначале это был скромный оптический прибор с трехкратным увеличением, а впоследствии был создан телескоп и с 32-кратным увеличением), Галилей сделал целый ряд интересных наблюдений и открытий. Он установил, что Солнце вращается вокруг своей оси, а на его поверхности имеются пятна. У самой большой планеты Солнечной системы – Юпитера – Галилей обнаружил 4 спутника (из 13 известных в настоящее время). Наблюдения Галилея за Луной показали, что её поверхность гористого строения и что этот спутник Земли имеет *либрацию*, то

есть видимые периодические колебания маятникового характера вокруг центра. Галилей убедился, что кажущийся туманностью Млечный Путь состоит из множества отдельных звёзд.

Высокую оценку астрономическим наблюдениям Галилея дал один из крупнейших математиков и астрономов конца XVI – первой трети XVII в. Иоганн Кеплер.

Кеплер занимался поисками законов небесной механики и составлением звездных таблиц. На основе обобщения данных астрономических наблюдений он установил три закона движения планет относительно Солнца. В своем первом законе Кеплер отказывается от коперниковского представления о круговом движении планет вокруг Солнца. В этом законе утверждается, что

> *каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.*

Согласно второму закону Кеплера,

> *скорость движения планеты изменяется так, что радиус-вектор, проведенный от Солнца к планете, в равные промежутки времени описывает равновеликие площади.*

Из этого закона следовал вывод, что скорость движения планеты по орбите непостоянна и она тем больше, чем ближе планета к Солнцу.

Третий закон Кеплера:

> *квадраты времён обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний от него.*

Кеплер считал, что Солнце – это одна из многочисленных звёзд, причём другие звёзды, рассеянные в пространстве, тоже окружены планетами. Он разработал теорию солнечных и лунных затмений, предложил способы их предсказания, уточнил величину расстояния между Землей и Солнцем, составил так называемые Рудольфовы таблицы – по имени австрийского императора Рудольфа II, при дворе которого Кеплер занимал место астронома. С помощью этих таблиц можно было вычислять с довольно высокой точностью положение планет для любого момента времени.

В 1609г. Кеплер высказал идею тяготения и мысль о том, что причиной приливов и отливов в океанах является притяжение Луны.

На основе законов Кеплера можно было описать движение планет вокруг Солнца. Но Кеплер не объяснил причины движения планет. Это стало возможным только после создания ньютоновской механики – *учения о взаимодействии тел и силах.*

Предшественник Ньютона, французский философ, физик и математик Рене Декарт (1596–1650 гг.) полагал, что взаимодействие происходит только путём давления или удара, то есть при непосредственном контакте (соприкосновении тел). Он исследовал законы удара.

Декарт ввёл понятие *количества движения*, подразумевая под ним произведение «величины» тела (массы) на абсолютное значение его скорости. Он сформулировал закон сохранения количества движения, однако толковал этот закон неправильно, не учитывая, что количество движения является векторной величиной.

Декарт был основоположником *картезианства*, стремился построить общую картину природы, в которой все физические и другие явления объяснялись бы как результат движения больших и малых частиц, образованных из единой материи. Он говорил: «*Дайте мне материю и движение, и я построю мир*». Не имея возможности опираться на достаточный экспериментальный материал, Декарт (и его последователи) злоупотреблял гипотетическими построениями, в основу которых положил принцип несотворимости и неуничтожимости движения. Основной удар картезианским взглядам нанёс Исаак Ньютон.

В своей работе по созданию теоретической механики *Ньютон* опирался, прежде всего, на открытые Галилеем закон инерции и законы свободного падения тел. Закон инерции вошёл в механику Ньютона в качестве первого закона.

Первый закон Ньютона:

> *всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока оно не будет вынуждено изменить это состояние под действием каких-либо других тел.*

Второй закон Ньютона связывает движение тела с тем воздействием, которое оказывают на него другие тела. Сила здесь выступает как причина изменения инерциального движения тела. Уравнение второго закона Ньютона связывает кинематическую характеристику движения – *ускорение* с динамической характеристикой – *силой*

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

Второй закон Ньютона:

> *ускорение* $\vec{a}$, *приобретаемое телом прямо пропорционально действующей на него силе* $\vec{\mathrm{F}}$ *и обратно пропорционально массе* m *тела.*

Второй закон Ньютона дал аппарат для расчёта характеристик движения тела под действием сил. Поскольку ускорение представляет собой первую производную от скорости по времени, то уравнение второго закона Ньютона может быть записано в форме дифференциального уравнения первого порядка относительно скорости

$$\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Решая это уравнение методом интегрирования, получают выражение для скорости движения тела, с помощью которого можно рассчитать численное значение скорости в любой момент времени: в настоящем, прошлом или будущем. Далее, так как скорость есть первая производная от радиуса-вектора (координат) точки, то, интегрируя выражение для скорости, получают выражение для координат точки в любой момент времени.

Третий закон Ньютона устанавливает, что все силовые явления в природе носят характер взаимодействия нескольких (не менее двух) тел.

Третий закон Ньютона – это закон равенства действия и противодействия. Этот закон констатирует, что

два тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой в противоположные стороны и равными по величине

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1},$$

где $\vec{F}_{1,2}$ – сила действия; $\vec{F}_{2,1}$ – сила противодействия.

На основе законов Кеплера Ньютон открыл закон всемирного тяготения согласно которому

все тела, независимо от их свойств и от свойств среды, в которой они находятся, взаимно притягиваются друг к другу с силой $\vec{F}$, *прямо пропорциональной произведению их масс (*m_1 *и* m_2*) и обратно пропорциональной квадрату расстояния* r *между ними*

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

где G – гравитационная постоянная $\left(G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)$.

Исходя из закона всемирного тяготения, Ньютон объяснил движение небесных тел (планет, их спутников, комет) и создал теорию тяготения. Он показал, что из этого закона вытекают три закона Кеплера, объяснил особенности движения Луны (явление прецессии), развил теорию фигуры Земли, отметив, что она должна быть сжата у полюсов, рассмотрел проблему создания искусственного спутника Земли.

Закон всемирного тяготения стал основой для создания небесной механики – науки, изучающей движение тел Солнечной системы.

Обобщив результаты исследования своих предшественников и свои собственные, Ньютон создал огромный труд «Математические начала натуральной философии», который был издан в 1687 г. В этом труде он

изложил концепцию абсолютного пространства и абсолютного времени, согласно которой:

1) Абсолютное пространство представлялось *универсальным вместилищем* всех материальных тел в природе. Считалось, что если бы все эти тела вдруг исчезли, абсолютное пространство все равно бы осталось.

2) Аналогично, в образе текущей реки, представлялось и абсолютное время. Оно являлось *универсальной длительностью* всех процессов во Вселенной.

3) И абсолютное пространство, и абсолютное время бесконечны, однородны, находятся вне материальных тел и не зависят от них.

Таким образом, пространство, время и материя представляют три не зависящих друг от друга сущности.

Ньютон полагал, что Вселенная находится *в стационарном состоянии*, то есть с течением времени её общие свойства не изменяются. Кроме того, она бесконечна во времени и в пространстве и заполнена бесконечным числом звёзд, вокруг которых вечно кружатся планеты. Он считал, что первый толчок Вселенной сообщил Бог, предоставивший затем телам двигаться в соответствии с законами механики.

Уже в XVIII–XIX вв. появились первые сомнения в справедливости космологических представлений Ньютона. Так немецкий астроном Генрих Ольберс в начале XIX в. сформулировал знаменитый парадокс, получивший название *фотометрического*. В бесконечной, вечной и неизменной Вселенной линия взгляда, устремлённого в любую точку небесной сферы, должна рано или поздно упереться в поверхность какой-нибудь звезды. Поэтому во Вселенной, устроенной по Ньютону, всё ночное небо должно светиться, как поверхность Солнца, в то время как непосредственное наблюдение обнаруживает лишь отдельные светящиеся точки ближайших звёзд.

Первой попыткой описать на основе научных представлений направленное поступательное развитие, по крайней мере, ограниченной части Вселенной явилась гипотеза *Канта – Лапласа* (1796 г.) о происхождении Солнечной системы из газопылевого облака.

Механика Галилея – Ньютона в последствии была развита в работах *Жана Д'Аламбера, Лагранжа, Пьера Лапласа, Уильяма Гамильтона, Карла Якоби* и др. Эти учёные сделали механику аналитической, обладающей строгостью математического анализа. Благодаря им, классическая механика получила стройную завершенную форму, основанную на принципах, определяющих естественнонаучную картину мира того времени, называемую *механической картиной мира*. В её рамках всё качественное многообразие мира объяснялось различиями в движении тел, подчиняющимся законам ньютоновской механики. Законы классической механики составляли основное содержание физической картины мира до начала XIX века.

6.2. Основные принципы механической картины мира

Основными принципами МКМ являются принцип инерции, принцип относительности Галилея, а также принцип обратимости во времени, принцип механического детерминизма, принцип редукции и принцип дальнодействия.

Принцип обратимости (или симметрии) во времени:

> *Все состояния механического движения тел по отношению ко времени оказываются в принципе одинаковыми, поскольку время считается обратимым.*

Для описания механического движения необходимо и достаточно задать координаты тела и его скорость (или импульс) в начальный момент времени, а, также, знать уравнение движения тела. Все последующие состояния движущегося тела точно и однозначно определяются его первоначальным состоянием. Таким образом, задав это первоначальное состояние, можно определить любое другое состояние тела, как в будущем, так и в прошлом. Получается, что время не оказывает никакого влияния на изменение состояния движущихся тел, и в уравнениях движения знак времени можно менять на обратный.

Подобное представление о времени, имеющее место в МКМ, является идеализацией реальных процессов, поскольку оно абстрагируется от фактических изменений, происходящих с телами с течением времени.

Так как в классической механике никак не учитывается направление времени, то для неё и механистической картины мира в целом характерна *симметрия процессов во времени,* которая выражается в *обратимости времени.*

В современных научных учениях – теории относительности и квантовой механике время также продолжают рассматривать как простой параметр, знак которого можно менять на обратный. Только в новейших научных исследованиях по неравновесной термодинамике и, особенно, в синергетике такие представления о времени начали подвергаться серьёзной критике, так как они противоречат не только нашим интуитивным представлениям и жизненному опыту, но и результатам исследований биологических и социальных систем, свидетельствующих о необратимости времени.

Принцип механического детерминизма (причинности) (от лат. *determino* – определяю):

> *любые события влекут за собой определенные следствия и в то же время представляют собой следствия из некоторых других событий, совершавшихся ранее.*

Демокрит понимал принцип детерминизма механистически, отождествляя *причинность* и *необходимость*. Он считал, что всё, происходящее в

мире, не только причинно обусловлено, но и необходимо, неизбежно и отвергал объективное существование *случайности*, говоря, что человек называет событие случайным, когда не знает (или не хочет узнать) причины события.

Одним из примеров того, что каждое явление имеет предшествующую ему причину, является второй закон Ньютона, согласно которому, причиной изменения движения является сила. Кроме того, уравнения механики, показывают, что следствие из причины вытекает *однозначно*. При условии, что для какого-нибудь момента времени заданы положение и скорость этого тела (начальные условия), эти уравнения имеют единственное решение. Отыскав его, можно сказать, где находилось тело в любой момент прошлого, и где оно будет находиться в любой будущий момент.

Сам окружающий нас мир в механической картине превращается в грандиозную машину, все последующие состояния которой точно и однозначно определяются её предшествующими состояниями. Такую точку зрения на природу наиболее ясно и образно выразил выдающийся французский ученый Пьер Лаплас (1749–1827 гг.), заявивший, что *любое существующее состояние Вселенной надо рассматривать как следствие предыдущего состояния и как причину последующего. Существу, которое было бы в состоянии в один момент схватить положение и скорости всех атомов Вселенной, открылось бы всё бесконечное будущее и прошлое Вселенной, в том числе любой поступок любого человека.*

Принцип редукции – *метод сведения закономерностей более сложных форм движения материи к законам более простых форм*.

После впечатляющих достижений классической механики, представители других наук предприняли попытки объяснить с помощью законов Ньютона изучаемые ими химические, биологические процессы и даже работу человеческого организма. Наметилась тенденция сведения закономерностей более высоких форм движения материи к законам простейшей его формы – механическому движению.

Такая тенденция со временем натолкнулась на оппозицию и в XVIII в. встретила критику со стороны химиков, биологов и медиков. Против этой тенденции выступили также выдающиеся философы-материалисты Дени Дидро (1713–1784гг.) и Поль Гольбах (1723–1789гг.), не говоря уже о *виталистах*, которые приписывали живым организмам особую «жизненную силу», наличием которой они отличаются от неживых тел.

Принцип дальнодействия:

Решая проблему взаимодействия тел, Ньютон предложил *принцип дальнодействия*. Согласно этому принципу,

> *взаимодействие между телами происходит мгновенно на любом расстоянии, без каких-либо материальных посредников, т.е. промежуточная среда не принимает участия в передаче взаимодействия.*

6.3. Основные черты механической картины мира

В рамках механической картины мира сложилась *дискретная (корпускулярная) модель реальности*, которая отразилась в содержании фундаментальных понятий: материи, движения, пространства, времени и взаимодействия.

Материя – это вещество (материальные тела), состоящее из дискретных, неделимых, абсолютно твердых частиц – атомов, вечных и неизменных. Из неизменности атомов следует неизменность массы тел.

Атомы перемещаются в пространстве и во времени по неизменным законам движения. Следовательно, мир – это движущаяся материя. Однако в МКМ рассматривалась единственная форма *движения* материи – механическое движение, т.е. изменение положения тела в пространстве с течением времени. Считалось, что тела обладают внутренним врожденным свойством двигаться прямолинейно и равномерно, а отклонения от этого движения связаны с действием на тело внешних сил. Движение тел объяснялось на основе законов Ньютона. Закономерности более высоких сложных форм движения материи сводились к законам механического движения.

Движение по Ньютону можно описывать только относительно инерциальной системы отсчёта (в которой при отсутствии внешних воздействий тело движется прямолинейно и равномерно). Однако любая реальная система отсчёта не является инерциальной, что проявляется в возникновении сил инерции, для которых невозможно указать порождающий их источник.

В поисках идеальной системы отсчёта Ньютон выдвигает концепцию о том, что *пространство* и *время* – две самостоятельные сущности, которые находятся вне тел и не зависят от них, то есть имеют абсолютный характер.

Абсолютное пространство – бесконечная однородная протяжённость, пустое вместилище тел. Пространство трёхмерно, непрерывно, бесконечно, однородно, изотропно, постоянно и не зависит от материи.

Абсолютное время – бесконечная однородная длительность. Время не зависит ни от пространства, ни от материи.

Универсальным свойством материальных тел, построенных из атомов, является *тяготение* (*гравитация*). Все многообразие взаимодействий механическая картина мира сводила только к *гравитационному взаимодействию*, которое означало наличие сил притяжения между любыми телами. Величина этих сил определялась законом всемирного тяготения.

Гравитационное взаимодействие тел объяснялось с позиций *принципа дальнодействия*: взаимодействие передается мгновенно на любые расстояния, без участия какого-либо материального агента в абсолютной пространственно-временной среде.

Считалось, что другие виды механических взаимодействий осуществляются при непосредственном контакте тел (трение, силы упругости).

В МКМ все наблюдаемые в природе явления сводились к *механическим процессам*. На макроуровне – это движение и взаимодействие макроскопических тел, непосредственно окружающих человека. На мегауровне – движение и взаимодействие небесных тел. На микроуровне природные явления (например, тепловые, химические и др.) сводились к механике атомов – их перемещениям, столкновениям, сцеплениям, разъединениям. Таким образом, считалось, что природа повторяется на всех уровнях: *мегамир, макромир и микромир аналогичны*. Открытие закона сохранения и превращения энергии в середине XIX в., казалось, окончательно доказывало механическое единство мира: все виды энергии представлялось возможным свести к механической энергии.

В МКМ господствует *лапласовский детерминизм* – учение о всеобщей закономерной связи и причинной обусловленности всех явлений, согласно которому, в природе принципиально отсутствует случайность. Случайность, реально наблюдаемая в природе, рассматривается как проявление неполноты знаний.

В МКМ природа предстаёт как монолит, внутри которого исчезает различие между живым и неживым, механическим и телесным.

Незыблемость природы объясняется отсутствием качественных изменений. Все изменения чисто количественные. Таким образом, в механистической картине мира *отсутствует развитие*, она *метафизична*.

Ещё одной важной чертой МКМ является идеализированное представление *о полной независимости исследуемого объекта и наблюдателя*. Позиция отстранённого наблюдателя предполагает, что сам процесс исследования никак не сказывается на изучаемом объекте, и его характеристики, определяемые эмпирически, остаются теми же, какие они есть у объекта «самого по себе».

6.4. Ограниченность механической картины мира

МКМ мира строилась на достаточно очевидных и простых механических аналогиях. И в повседневной практической деятельности людей основные выводы классической механики не приводили к противоречиям с опытными данными.

На основе МКМ в XVIII – начале XIX в. была разработана земная, небесная и молекулярная механика. Быстрыми темпами шло развитие техники. Это привело к абсолютизации механической картины мира, что выразилось в попытках свести все многообразие явлений природы к механической форме движения материи. Такая точка зрения получила название *механистического материализма* (*механицизм*).

Однако позже, с развитием средств измерений, выяснилось, что при изучении многих явлений, например, небесной механики необходимо учи-

тывать сложные эффекты, связанные с движением частиц со скоростями, близкими к световым. Появились уравнения специальной теории относительности, с трудом вмещающиеся в рамки механических представлений. Возникли трудности при описании тепловых и электромагнитных явлений (испускание, распространение и поглощение света), которые тоже не могли быть разрешены классической ньютоновской механикой. Изучая свойства микрочастиц, учёные выяснили, что в явлениях микромира частицы вещества могут обладать свойствами волны.

В МКМ природа рассматривалась как сложная механическая система. Жизнь и разум в ней не обладали никакой качественной спецификой. Человек рассматривался как природное тело в ряду других тел, и поэтому оставался необъяснимым в своих «невещественных» качествах. Присутствие человека в мире ничего не меняло. Если бы человек однажды исчез с лица Земли, мир продолжал бы существовать, как ни в чем не бывало. По сути дела, классическое естествознание не стремилось постичь человека. Подразумевалось, что природный мир, в котором нет ничего человеческого, можно описать объективно, и такое описание будет точной копией реальности. Рассмотрение человека как одного из винтиков хорошо отлаженной машины автоматически устраняло его из данной картины мира. Подобный взгляд являлся одним из недостатков МКМ.

В результате в XIX в. наступил кризис, который свидетельствовал о том, что физика нуждалась в существенном изменении своих взглядов на мир. Эксперименты английского естествоиспытателя Майкла Фарадея и теоретические работы английского физика Джеймса Максвелла окончательно разрушили преставления ньютоновской физики о дискретном веществе как единственном виде материи, и положили начало электромагнитной картине мира.

Оценивая механическую картину мира как один из этапов развития физической картины мира, необходимо иметь в виду, что с развитием науки основные положения МКМ не были просто отброшены. Дальнейшее развитие науки лишь раскрыло относительный характер механической картины мира. Несостоятельной оказалась не сама МКМ, а ее исходная философская идея – механицизм.

Законы классической механики с большой точностью (но все же приближенно) описывают многие явления природы. До сих пор с помощью законов Ньютона, осуществляется, например, расчет траекторий искусственных спутников Земли, проектирование и сооружение зданий, дорог, мостов, плотин, каналов, а также решаются другие многочисленные задачи, возникающие в повседневной человеческой жизни.

В рамках МКМ решаются задачи о движении тел с небольшими скоростями и в случаях, когда имеют дело с небольшими энергиями взаимодействия.

Электромагнитная картина мира, разработанная в XIX–XX в.в. в недрах МКМ установила пределы применимости классических законов механики.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите особенности натурфилософской ступени познания мира.
2. В чём суть гипотезы Левкиппа о строении вещества?
3. Как объясняли разнообразие всех тел в природе древнегреческие атомисты Демокрит и Эпикур?
4. Расскажите, как понимал движение Аристотель?
5. Опишите космологические представления Аристотеля и Птолемея.
6. Сформулируйте основные положения и законы статики Архимеда.
7. Как происходило формирование физических представлений в период средневековья? Опишите научные достижения ученых Оксфордского университета (Т. Брадвардина, У. Гейтсбери), а также французских философов (Н. Орем, Ж. Буридана, А. Саксонского).
8. Расскажите о достижениях Леонардо да Винчи в исследовании механических явлений и их практическом применении.
9. Опишите гелиоцентрическую систему мира Н. Коперника.
10. Дайте оценку роли экспериментальных исследований Галилея в становлении механики как науки. Сформулируйте принцип относительности Галилея. Расскажите об астрономических исследованиях Галилея.
11. Почему механика Галилея может справедливо рассматриваться как основа механики Ньютона?
12. Сформулируйте законы небесной механики Кеплера.
13. Дайте формулировку первого, второго и третьего законов Ньютона.
14. Сформулируйте закон всемирного тяготения. Какие теоретические выводы были сделаны Ньютоном на основе закона всемирного тяготения?
15. В чём суть ньютоновской концепции абсолютного пространства и времени?
16. Опишите космологические представления Ньютона. Сформулируйте парадокс Ольберса.
17. Сформулируйте принцип обратимости (симметрии) во времени.
18. В чём заключается лапласовский детерминизм?
19. Что такое редукционизм? Почему с ним нельзя согласиться?
20. Сформулируйте принцип дальнодействия.
21. Каковы представления механической картины мира о материи? О движении? О пространстве и времени? О взаимодействии? О причинности и закономерности?
22. В чём ограниченность механической картины мира? Что такое механицизм?

7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КАРТИНА МИРА

7.1. Основные черты электромагнитной картины мира

В рамках электромагнитной картины мира (ЭМКМ) сложилась *полевая*, *континуальная* (непрерывная) модель реальности, согласно которой:

- *материя* – единое непрерывное поле с точечными силовыми центрами (электрическими зарядами) и волновыми движениями в нём;
- *мир* – электродинамическая система, построенная из электрически заряженных частиц, взаимодействующих посредством электромагнитного поля;
- *движение* – распространение электромагнитных колебаний в поле, которое описывается законами электродинамики;
- *пространство* и *время* – несамостоятельны, зависят от материи, то есть связаны с процессами, происходящими в поле (реляционная (относительная) концепция пространства и времени).

7.2. Основные экспериментальные законы электромагнетизма

Электрические и магнитные явления были известны человечеству с глубокой древности.

Древние греки заметили, что два куска янтаря, потёртые о шерсть, отталкиваются друг от друга, а также притягивают к себе различные мелкие предметы (соломинки, пушинки, ворсинки меха и т.д.). Однако только в 1600 г. благодаря английскому физику Уильяму Гильберту появилось учение об электричестве. С помощью простейшего электроскопа он выяснил, что подобными свойствами обладают и другие вещества: стеклянная палочка, потёртая о шёлк, палочка из органического стекла, натёртая о бумагу, эбонит (каучук с большой примесью серы), потёртый о сукно или мех. Именно Гильберт ввёл термин *электричество* (от греч. *electron* – янтарь) и понятие *электризации*.

Электризация *представляет процесс приобретения телом электрических свойств.*

Магнитные явления были известны человечеству более 2000 лет назад. Начиная со II в. н.э. в Китае изготавливались *постоянные магниты*, надолго сохраняющие магнитные свойства. В 1269 г. французский исследователь Пьер де Марикур, помещая стальные иголки вблизи шара из магнетита, заметил, что они испытывают наибольшее притяжение вблизи двух диаметрально противоположных точек. Он назвал их *магнитными полюсами*. Магнит, изготовленный Марикуром в виде стержня, ориентировался в направлении юг-север подобно стрелке компаса. Полюс, указывающий

направление на север, назвали северным (N), а на юг – южным (S). Опыты Марикура показали, что *одноимённые магнитные полюса отталкивают друг друга, а разноимённые притягивают*. Предполагая, что взаимодействие магнитов обусловливается магнитными зарядами, находящимися на полюсах, Марикур пытался их разделить. Однако все его попытки получить *магнитный монополь* (магнитный заряд) не увенчались успехом. Каждый фрагмент разделённого магнита имел два полюса: северный и южный.

В 1600 г. Гильбертом была выдвинута гипотеза о том, что Земля представляет собой большой магнит: этим и обусловлена возможность определения направления с помощью компаса. Почти через 50 лет Рене Декарт обнаружил, что постоянный магнит действует на мельчайшие железные опилки, насыпанные вокруг него, подобно Земле, ориентирующей магнитную стрелку компаса. Тем самым он показал, что в пространстве существует *магнитное взаимодействие* (*поле*).

XVIII век ознаменовался *систематическими исследованиями электрических явлений.*

В 1729 г. англичанин Стефен Грей обнаружил, что электричество может передаваться от одного тела к другому по металлической проволоке, но не может передаваться по шёлковой нити. Грей ввел понятия *проводник* и *изолятор*. В 1733 г. французский учёный Шарль Дюфе открыл существование *отрицательного и положительного электричества* и установил, что «однородные электричества отталкиваются, а разнородные притягиваются». Важным шагом в изучении электрических явлений стало изобретение в 1745 г. в городе Лейдене голландским учёным Питером ван Мушенбруком и его учеником Кюнеусом первого электрического конденсатора – *лейденской банки*. Благодаря этому изобретению физики смогли получить значительные электрические заряды и экспериментировать с ними.

Первая последовательная теория электрических явлений была создана в 1749 г. американским учёным Бенджамином Франклином. Он высказал гипотезу о том, что оба рода электричества представляют собой избыток или недостаток «электрической жидкости», содержащейся в определённом количестве в нейтральном теле. Недостаток «электрической жидкости» определялся как отрицательное электричество, а избыток – как положительное.

В 1759 г. английский естествоиспытатель Роберт Симмер сделал заключение о том, что в *обычном состоянии любое тело электрически нейтрально*, т.е. содержит равное количество разноимённых зарядов, взаимно нейтрализующих друг друга. При электризации происходит перераспределение зарядов.

В 1800 г. итальянский ученый Алесандро Вольта создал первый химический источник тока – *гальванический элемент* и открыл *контактную разность потенциалов*.

В результате многочисленных исследований электрических явлений, предпринятых в XVIII веке, был открыт ряд важнейших законов электростатики:

В 1843 г. Майкл Фарадей экспериментально открыл закон сохранения электрического заряда:

в замкнутой системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной при любых взаимодействиях (электрические заряды могут возникать и исчезать, но при этом обязательно появляется и исчезает равное количество элементарных зарядов противоположных знаков):

$$q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = \text{const}.$$

В 1785 г. французский физик Шарль Кулон с помощью крутильных весов установил закон взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов (закон Кулона):

сила F взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов q_1 и q_2 в вакууме прямопропорциональна произведению модулей зарядов и обратнопропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$

где ε_0 – электрическая постоянная $\left(\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}\right)$.

Кулоновские силы существенны до расстояний порядка 10^{-15} м (нижний предел). На меньших расстояниях начинают действовать ядерные силы. Что касается верхнего предела, то он стремится к бесконечности.

Важные результаты в области электромагнетизма были получены французским учёным Андре Мари Ампером. В 1820г. Ампер открыл магнитное взаимодействие токов и установил закон этого взаимодействия.

Закон Ампера:

два параллельных проводника с токами одинакового направления притягиваются друг к другу с силой F прямо пропорциональной величине токов I_1 и I_2, длине проводников l и обратно пропорциональной расстоянию d между проводниками.

$$F = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I_1 I_2 l}{d},$$

где μ_0 – магнитная постоянная $\left(\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\right)$; μ – магнитная проницаемость среды.

Параллельные проводники отталкиваются, если токи текут в противоположных направлениях.

В 1826 г. был издан основной труд Ампера «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта». Он использовал понятия «сила тока», «напряжение», хотя и не приводил четкой формулировки этих понятий. Амперу также принадлежат идеи создания прибора для измерения силы тока (*амперметра*) и *электромагнитного телеграфа*. По существу, Ампером была создана новая наука об электричестве и магнетизме, названная *электродинамикой.* Он пришел к заключению, что все магнитные явления в природе, в том числе и связанные с постоянными магнитами, вызваны электрическими токами (теория молекулярных токов Ампера).

Важнейшими открытиями в области электричества явились:

- закон Георга Ома (1826 г.):

сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна разности потенциалов на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению проводника

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R},$$

где R – электрическое сопротивление проводника

- закон Джоуля – Ленца (1842 г.):

количество теплоты, выделяемое током в проводнике прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения по нему тока.

$$Q = I^2 Rt.$$

Природа магнетизма оставалась неясной до конца XIX в., а *электрические и магнитные явления рассматривались независимо друг от друга,* пока в 1820 г. датский физик Ханс Эрстед не открыл магнитное действие электрического тока. Поместив над проводником, по которому идет электрический ток, магнитную стрелку, Эрстед обнаружил, что она отклоняется от первоначального положения. Это привело учёного к мысли, что электрический ток создает магнитное поле. Открытие Эрстеда показало, что *между электрическими и магнитными явлениями существует связь* и что магнитные действия можно получить при помощи электрических токов.

Исследования английского физика Майкла Фарадея придали определенную завершенность изучению электромагнетизма. Зная об открытии Эрстеда и разделяя идею о взаимосвязи электрических и магнитных явлений, в 1821 г. Фарадей поставил обратную задачу «превратить магнетизм в электричество». Вращая замкнутый контур в магнитном поле, он получил

в нём электрический ток. Через 10 лет экспериментальной работы Фарадей открыл *явление электромагнитной индукции*, которое ещё более укрепило представление о связи между электричеством и магнетизмом.

Электромагнитная индукция – *это явление возникновения вихревого электрического поля, вызывающего электрический ток в замкнутом проводнике при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную проводником*.

Фарадей сформулировал закон электромагнитной индукции:

Электродвижущая сила (ЭДС) электромагнитной индукции ε_i *в замкнутом проводнике прямопропорциональна скорости изменения магнитного потока* Φ*, охватываемого проводником*

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где $\frac{d\Phi}{dt}$ – скорость изменения магнитного потока, пронизывающего контур замкнутого проводника.

Знак «–» в формуле закона отражает соответствие направления индукционного тока правилу Эмилия Ленца, сформулированному в 1833 г.

Правило Ленца:

Индукционный ток в замкнутом проводнике имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через поверхность, ограниченную проводником, препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.

Важнейшей идеей в работах Фарадея было признание основной, определяющей роли промежуточной среды в электрических и магнитных явлениях. Фарадей не допускал действия на расстоянии и считал, что электрические и магнитные взаимодействия передаются промежуточной средой и что именно в этой среде протекают основные электрические и магнитные процессы. В теории электромагнитной индукции Фарадей развил новые взгляды на природу электричества, основанные на принципе близкодействия (согласно которому взаимодействия между телами осуществляются посредством тех или иных полей, непрерывно распределенных в пространстве). Распределение электрических и магнитных полей в пространстве Фарадей описывал с помощью силовых линий, которые, по его представлению, напоминают обычные упругие линии в гипотетической среде – *мировом эфире*.

К другим открытиям Фарадея в области электромагнетизма относятся открытие в 1848г. явления *вращения плоскости поляризации света*, распространяющегося в прозрачных веществах вдоль линий напряженности магнитного поля (эффект Фарадея), открытие в 1845 г. явлений *диамагне-*

тизма и *парамагнетизма*, установление связи оптических явлений с магнетизмом.

Основные теоретические представления Фарадея, его концепция близкодействия не были восприняты современниками. Первым обратил на них серьезное внимание английский математик и физик Джеймс Максвелл. Он полностью воспринял идеи Фарадея о реальности процессов в пространстве возле зарядов и токов. В явлении электромагнитной индукции Максвелл усмотрел новое свойство полей:

> *переменное магнитное поле порождает в пустом пространстве электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями (так называемое вихревое электрическое поле).*

Следующий, и последний, шаг в открытии основных свойств электромагнитного поля был сделан Максвеллом без какой-либо опоры на эксперимент. Им была высказана гениальная догадка о том, что

> *переменное электрическое поле порождает магнитное поле, как и обычный электрический ток (гипотеза о токе смещения).*

В 60-х годах XIXв. Максвелл разработал теорию электромагнитного поля, которая значительно расширила взгляды физиков на материю и привела к созданию электромагнитной картины мира (ЭМКМ).

7.3. Теория электромагнитного поля Максвелла

Теория электромагнитного поля описана Максвеллом в 1873 г. в книге «Трактат об электричестве и магнетизме».

Суть теории Максвелла состоит в следующем:

> *переменное магнитное поле, возбуждаемое изменяющимся током, создает не только в окружающих телах, но и в вакууме, вихревое электрическое поле, которое, в свою очередь, возбуждает магнитное поле, и т.д. Изменяющиеся электрические и магнитные поля, взаимно порождая друг друга, образуют единое переменное электромагнитное поле.*

Таким образом, *в физику была введена новая реальность — электромагнитное поле.*

Электромагнитное поле – особый, отличный от вещества вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами.

Материальность электромагнитного поля проявляется, в частности, в том, что полю присущи *энергия, импульс, момент импульса, давление*. В макроскопическом рассмотрении эти характеристики считаются равномерно распределёнными с некоторой плотностью во всём объёме, занимаемом полем.

Электромагнитные поля возникают вокруг движущихся зарядов, от которых распространяются в окружающее пространство. Они не локализованы в чётко ограниченных областях пространства и *обладают проницаемостью* – в одной области пространства могут существовать одновременно несколько полей, созданных различными источниками.

Электромагнитное поле в вакууме характеризуется *векторами напряжённости* $\vec{E}$ *электрического поля* и *индукции* $\vec{B}$ *магнитного поля*.

Для описания электромагнитного поля используют его силовое действие на неподвижные и движущиеся заряженные частицы. Вектор силы $\vec{F}$, действующей со стороны поля на неподвижные и движущиеся заряженные частицы, можно представить в виде суммы двух векторов

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\left[\vec{\upsilon} \cdot \vec{B}\right],$$

где $q\vec{E}$ – электрическая составляющая силы, действующая как на неподвижные, так и на движущиеся заряды; $q\left[\vec{\upsilon} \cdot \vec{B}\right]$ – магнитная составляющая силы, действующая только на движущиеся заряды и зависящая от скорости $\vec{\upsilon}$ их движения.

Основу теории Максвелла составляют четыре фундаментальных уравнения.

Уравнения Максвелла связывают в любой точке пространства в любой момент времени силовые характеристики электромагнитного поля ($\vec{E}$ *и* $\vec{B}$*) с характеристиками источников поля.*

Первое уравнение определяет, что *электрическое поле порождается электрическими зарядами*.

Это уравнение устанавливает связь между объёмной плотностью заряда ρ и вектором напряжённости электрического поля $\vec{E}$.

Если в некоторой области пространства объёмом V, ограниченной замкнутой поверхностью площадью S, произвольным образом распределён заряд $q = \int_V \rho dV$, то

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dV, \qquad (7.1)$$

где $\oint_S \vec{E} d\vec{S}$ – поток вектора напряжённости $\vec{E}$ электрического поля, создаваемого в вакууме зарядом q через поверхность S.

Уравнение (1) носит название теоремы Гаусса:

поток вектора напряжённости электростатического поля в вакууме через замкнутую поверхность пропорционален заряду, находящемуся в объёме, ограниченном этой поверхностью.

Линии напряжённости электрического поля, созданного зарядами, не замкнуты: они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных зарядах или уходят в бесконечность.

Второе уравнение определяет ещё один *источник электрического поля – изменяющееся во времени магнитное поле*.

Это уравнение является обобщением закона электромагнитной индукции Фарадея.

Пусть ℓ – длина замкнутого контура, ограничивающего поверхность S; $\int_S \vec{B}d\vec{S}$ – изменяющийся во времени поток вектора индукции $\vec{B}$ магнитного поля через поверхность S.

Второе уравнение определяет, что при всяком изменении магнитного потока через поверхность S возникает электрическое поле, циркуляция вектора напряжённости $\vec{E}$ которого по контуру ℓ ($\oint_\ell \vec{E}d\vec{\ell}$) пропорциональна скорости изменения магнитного потока:

$$\oint_\ell \vec{E}d\vec{\ell} = -\frac{\partial}{\partial t}\int_S \vec{B}d\vec{S}\,. \qquad (7.2)$$

Чем быстрее изменяется магнитное поле, тем сильнее возникающее при этом (индуцированное) электрическое поле. Индуцированное поле имеет вихревой характер. Знак «минус» перед правой частью уравнения (7.2) отвечает правилу Ленца.

Третье уравнение определяет *факт отсутствия в природе магнитных зарядов* (*подобных электрическим*) *как источников магнитного поля*.

Поток вектора магнитной индукции $\oint_S \vec{B}d\vec{S}$ через произвольную замкнутую поверхность S равен нулю.

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0\,. \qquad (7.3)$$

Из формулы (7.3) следует, что линии магнитной индукции (магнитные силовые линии) всегда замкнуты. Магнитное поле – *вихревое*.

Четвёртое уравнение определяет, что *источниками магнитного поля являются движущиеся электрические заряды* (*т.е. электрический ток* ($\int_S \vec{j}d\vec{S}$)) *и изменяющееся во времени электрическое поле* ($\frac{\partial}{\partial t}\int_S \vec{E}d\vec{S}$).

$$\oint_\ell \vec{B}d\vec{\ell} = \mu_0\int_S \vec{j}d\vec{S} + \frac{1}{c^2}\cdot\frac{\partial}{\partial t}\int_S \vec{E}d\vec{S}, \qquad (7.4)$$

где j – плотность тока; c – скорость света в вакууме.

Циркуляция вектора магнитной индукции $\vec{B}$ по произвольному замкнутому контуру ℓ, мысленно проведённому в электромагнитном поле, равна сумме двух слагаемых: первое из них пропорционально плотности тока $\vec{j}$, протекающего сквозь контур, второе – пропорционально скорости изменения потока вектора напряжённости электрического поля $\frac{\partial}{\partial t}\int_S \vec{E}d\vec{S}$ через поверхность S, ограниченную контуром ℓ.

Из уравнений (7.2) и (7.4) следует, что электрическое и магнитное поля нельзя в общем случае рассматривать независимо друг от друга. Они составляют неразрывную совокупность – *электромагнитное поле*.

Из решения уравнений (7.1)–(7.4) вытекает, что *электромагнитное поле распространяется в пространстве в виде волн и скорость электромагнитных волн равна скорости света* (300000 км/с), которая в виде универсальной константы входит в четвертое уравнение Максвелла.

Тем самым устанавливается факт, что свет является совокупностью электромагнитных волн. Этот факт стал неоспоримым после знаменитых опытов русского физика-экспериментатора Петра Николаевича Лебедева по измерению давления света.

Развивая теорию электромагнитного поля, Максвелл не отвергал и дискретность материи. В книге «Материя и движение» Максвелл рассматривал понятия дискретности и непрерывности, не отдавая предпочтения ни тому, ни другому, допуская возможность и одного, и другого.

Подтверждением электромагнитной теории Максвелла явилось *экспериментальное обнаружение электромагнитных волн* Генрихом Герцем в 1888 г.

Разработанная Максвеллом теория электромагнитного поля значительно расширила взгляды физиков на материю и привела к созданию электромагнитной картины мира. Сам Максвелл, по мнению Эйнштейна, еще был убежден в том, что электродинамические процессы можно рассматривать как движение эфира, и даже использовал механику при выводе уравнений поля, однако со временем становилось все более ясным, что сведéние уравнений электромагнитного поля к уравнениям механики невозможно.

Теория Максвелла явилась предшественницей электронной теории Хендрика Лоренца и специальной теории относительности Альберта Эйнштейна.

7.4. Электронная теория Лоренца

Нидерландский физик-теоретик Хендрик Лоренц считал, что теория Максвелла нуждается в дополнении, так как в ней не учитывается структура вещества. Он высказал свои представления об электронах, т.е. малых

электрически заряженных частицах, которые в громадном количестве присутствуют во всех телах.

В 1895 г. Лоренц совместно с немецким физиком Паулем Друде дал систематическое изложение электронной теории электропроводности металлов, опирающейся, с одной стороны, на теорию Максвелла, а с другой – на представления об «атомарности» (дискретности) электричества.

Основные положения электронной теории:

1. В металле есть свободные электроны – электроны проводимости, рассматриваемые как электронный газ, обладающий свойствами одноатомного идеального газа.

2. Остов металла образует кристаллическая решётка, в узлах которой находятся положительные ионы, совершающие беспорядочные тепловые колебания около положений равновесия.

3. В отсутствие электрического поля электроны проводимости хаотически движутся и сталкиваются с ионами металла. Средняя длина свободного пробега $\langle\lambda\rangle$ *электронов имеет величину порядка расстояния между узлами решётки металла, т.е.* $\langle\lambda\rangle \sim 10^{-10}$ *м.*

4. Электрический ток в металле возникает под действием электрического поля, которое вызывает упорядоченное движение электронов проводимости – дрейф электронов в направлении, противоположном направлению вектора напряженности поля. Это движение накладывается на беспорядочное тепловое движение электронов.

5. Электрическое сопротивление металлического проводника обусловлено столкновениями электронов проводимости с ионами решётки.

Электронная теория позволила количественно описать многие явления, однако в ряде случаев, например при объяснении зависимости сопротивления металлов от температуры, была практически бессильна. Это связано с тем, что к электронам в общем случае нельзя применять законы механики Ньютона и законы идеальных газов, что было выяснено в 30-х годах XX в.

В 1902 г. в опытах немецкого физика Вальтера Кауфмана по измерению массы движущихся электронов было обнаружено, что отношение заряда электрона к его массе не является постоянной величиной, а зависит от скорости (с ростом скорости оно уменьшается). Так как заряд электрона является постоянной величиной, то, очевидно, это обусловлено ростом массы. Увеличение массы электрона при движении его со скоростью, близкой к скорости света, объясняется в специальной теории относительности.

7.5. Основные принципы электромагнитной картины мира

Важным следствием развития электродинамики стал переход от ньютоновского принципа дальнодействия к принципу близкодействия, сформулированному Фарадеем.

Принцип близкодействия:

> *взаимодействия любого характера передаются полем от точки к точке непрерывно и с конечной скоростью.*

К основным принципам ЭМКМ относятся также принцип относительности Эйнштейна, принцип постоянства и предельности скорости света, принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс, принцип суперпозиции, принцип соответствия и принцип причинности.

Принцип соответствия утверждает, что

> *любая новая научная теория, являющаяся развитием предыдущих классических теорий, справедливость которых была экспериментально установлена для определённых групп явлений, не отвергает эти классические теории, а включает их в себя как частный случай.*

Этот принцип выражает требование преемственности знаний в процессе научного познания природы: новая теория, будучи более глубокой и общей по своему содержанию в предметной области определяет границы применимости идей и расчётных методов предыдущих (старых) теорий. Предыдущие теории сохраняют своё значение для определённых групп явлений как предельная форма и частный случай новой теории.

Например, в специальной теории относительности в пределе малых скоростей ($\upsilon << c$) получаются те же следствия, что и в классической механике. Так, преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея, время течёт одинаково во всех инерциальных системах отсчета, кинетическая энергия становится равной $\frac{m\upsilon^2}{2}$ и т.д.

Согласно принципу соответствия, в слабых гравитационных полях при малых скоростях ($\upsilon << c$) предсказания общей теории относительности совпадают с результатами применения ньютоновского закона всемирного тяготения с небольшими поправками, которые растут по мере увеличения напряженности поля.

Какого-либо нового понимания причинности, запрещающего влияние данного события на все прошедшие события («событие-причина предшествует по времени событию-следствию»), по сравнению с механической картиной мира в ЭМКМ не произошло. Например, применение принципа причинности к электродинамике материальной среды требует выбора в качестве *события-причины* – возмущения электрической индукции, совпадающей с полем внешних источников, а в качестве *события-следствия* –

соответствующего изменения напряжённости электрического поля (часто практикуемый обратный выбор неправилен, т. к. возмущение напряжённости поля включает в себя неконтролируемый вклад самой среды). Применение принципа причинности в аппарате теоретической физики многочисленны и разнообразны. Он служит средством выбора начальных условий к динамическим уравнениям, обеспечивая однозначность их решения. Так при решении уравнений Максвелла принцип причинности позволяет сделать выбор между опережающими и запаздывающими потенциалами в пользу последних.

Более сильный релятивистский принцип причинности также исключает взаимное влияние событий, разделенных пространственноподобным интервалом, для которых сами понятия «раньше», «позже» не абсолютны, а меняются местами с изменением системы отсчёта. Взаимное влияние таких событий было бы возможно лишь с помощью объекта, движущегося со скоростью, превышающей скорость света в вакууме. Поэтому известное утверждение о невозможности сверхсветовых движений в рамках теории относительности вытекает именно из релятивистского принципа причинности.

7.6. Общие положения электромагнитной картины мира

В электромагнитной картине мира:

1) материя рассматривается как единство двух взаимодополняющих друг друга видов*: вещества* (совокупности атомов), характеризующегося прерывностью, и *поля*, которому свойственная непрерывность. Они строго разделены и их превращение друг в друга невозможно. *Главным является поле*, а значит, основным свойством материи является *непрерывность* (континуальность) в противовес дискретности;

2) известны два вида поля – *гравитационное* и *электромагнитное*, соответственно – два вида фундаментальных взаимодействий. Поля, в отличие от вещества, непрерывно распределяются в пространстве. Электромагнитное взаимодействие объясняет не только электрические и магнитные явления, но и другие – оптические, химические, тепловые;

3) первоначально считалось, что весь мир заполнен *электромагнитным эфиром*, пустоты в нём нет. Электрическое, магнитное и электромагнитное поля трактовались как состояния эфира, который был их носителем. Американский физик Альберт Майкельсон экспериментально доказал, что эфира нет, электромагнитное поле само является видом материи, для его распространения нет необходимости в какой-либо особой среде – эфире;

4) механистическая концепция *абсолютного пространства и времени* (не зависимых друг от друга и не связанных с материальными объектами) уступила место реляционному их пониманию:

пространство и время связаны с процессами, происходящими в поле, т.е. они не самостоятельны и зависят от материи.

Эйнштейн ввел в электромагнитную картину мира *идею относительности* пространства и времени. Из преобразований Лоренца следует, что пространство и время связаны между собой и образуют единый четырехмерный мир (пространственно-временной континуум), являясь его проекциями. ОТО показала, что свойства пространственно-временного континуума (метрика Мира, его геометрия) определяются распределением и движением материи;

5) обогатилось понимание движения: первичным по отношению к механическому движению постулировалось *колебательное движение в поле*;

6) ньютоновский принцип дальнодействия был заменен фарадеевским принципом близкодействия, согласно которому *взаимодействие передается с помощью полей, заполняющих пространство, не мгновенно, а с конечной скоростью*;

7) была установлена взаимосвязь массы и энергии. *Масса стала не только мерой инертности и гравитации, но и мерой содержания энергии*. В результате два закона сохранения — массы и энергии были объединены в один общий закон сохранения массы и энергии;

8) все законы природы сводились к законам электромагнетизма, которые математически выражались уравнениями Максвелла.

Вещество представлялось состоящим из электрически заряженных частиц. Ставилась задача «построить модель атома, составленного из определенных сочетаний положительного и отрицательного электричества». К тому времени, когда возникли представления об атомах, состоящих из электронов и протонов, электромагнитная картина мира приобрела почти завершенную форму, ей удалось объединить разрозненные факты путём обращения к единообразной сущности, каковой считалось электромагнитное поле.

7.7. Ограниченность электромагнитной картины мира

Дальнейшее развитие физики показало, что ЭМКМ имеет ограниченный характер. Главная трудность заключалась в том, что континуальное понимание материи не согласовывалось с опытными фактами, подтверждающими дискретность многих её свойств – заряда, излучения, действия. Не удавалось объяснить соотношения между полем и зарядом, устойчивость атомов, их спектры, явление фотоэффекта, излучение абсолютно чёрного тела. В 1897 году было открыто явление радиоактивности, установлено, что оно связано с превращением одних химических элементов в другие и сопровождается испусканием α,β,γ-излучения. На этой основе появились эмпирические модели атома, противоречащие электромагнит-

ной картине мира. Все это свидетельствовало об относительном характере ЭМКМ и необходимости замены её новой картиной мира. Вскоре на смену ЭМКМ пришла *новая — квантово-полевая картина мира, объединившая дискретность МКМ и непрерывность ЭМКМ.*

Вопросы для самопроверки

1. На базе каких научных открытий и теоретических разработок сформировалась ЭМКМ?
2. Расскажите об истории открытия электрических и магнитных явлений.
3. Сформулируйте важнейшие законы электричества и магнетизма, положенные в основу ЭМКМ.
4. В чем состоит суть открытия Эрстеда?
5. Охарактеризуйте вклад Фарадея в создание ЭМКМ.
6. Раскройте суть теории Максвелла. В чём смысл уравнений Максвелла? Запишите уравнения Максвелла.
7. Какая новая физическая реальность была введена в научную картину мира в результате исследований Максвелла? Дайте её определение.
8. Назовите основные положения электронной теории проводимости металлов.
9. Назовите основные принципы ЭМКМ.
10. Какой подход к описанию мира характерен для ЭМКМ – корпускулярный или континуальный?
11. Сформулируйте основные положения ЭМКМ.

8. КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА (КПКМ)

8.1. Основополагающие идеи квантово-полевой картины мира

Основополагающим идеям КПКМ являются:

1) идея квантования физических величин;

2) идея корпускулярно-волнового дуализма.

Сущность идеи квантования состоит в том, что *некоторые физические величины, относящиеся к микрообъекту, могут в соответствующих условиях принимать только вполне определенные, дискретные значения*. Такие величины называются квантованными. Например, квантуется энергия электромагнитного излучения определенной частоты, а также энергия любого микрообъекта, находящегося в связанном состоянии, например энергия электрона в атоме. Энергия же свободно движущегося микрообъекта не квантуется.

Другими примерами квантованных величин являются заряд, момент импульса, спин.

Сама идея квантования сформировалась на основе ряда открытий в конце XIX – начале XX вв. К ним относятся:

1. Открытие электрона.

2. Исследование теплового излучения.

Дискретность электрического заряда экспериментально доказал американский физика Роберт Милликен. Равенство $q = ne$ (где n – целое число; e – заряд электрона) представляет собой *форму квантования электрического заряда*.

Закономерности в спектре теплового излучения абсолютно черного тела объяснены на основе квантовой гипотезы Макса Планка, согласно которой *абсолютно чёрное тело испускает свет не непрерывно, а дискретно, т.е. определёнными конечными порциями энергии – квантами.*

Квант в переводе с латинского *quantum* – означает «количество». Значение минимальной порции энергии – одного *кванта* – по теории Планка прямо пропорционально частоте излучения

$$\varepsilon_\gamma = h\nu ,$$

где ν – частота излучения; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, входящая в основные уравнения квантовой теории (она является фундаментальной физической константой).

Согласно Планку излучающее тело всегда испускает энергию E, равную (для любой частоты) $nh\nu$, где n – любое целое положительное число.

Тепловое излучение стало одним из первых явлений, которое удалось объяснить на основе квантовых представлений.

То, что свет имеет двойственную сущность, постепенно вошло в сознание физиков. Кванты стали так же реальны, как световые волны. Этому способствовал ряд экспериментальных результатов, которые получили естественное объяснение на основе подхода к свету как к потоку квантов. К числу явлений, открытых в ходе таких экспериментов в первую очередь относятся фотоэффект и эффект Комптона.

8.2. Фотоэффект

Фотоэффект – это явление вырывания электронов из вещества под действием света.

Фотоэффект был открыт немецким физиком Генрихом Герцем (1857-1894 гг.). В 1887 г. Герц обнаружил, что если направить на отрицательный электрод искрового разрядника ультрафиолетовое излучение, то электрический разряд происходит при меньшем напряжении между электродами, чем в отсутствие освещения. Герцу не удалось дать правильного объяснения этому явлению. Опыты немецкого физика Вильгельма Гальвакса (1839-1896 гг.), итальянского учёного Артура Риви (1801-1873 гг.) и в особенности тщательные исследования русского учёного Александра Григорьевича Столетова (1839-1896 гг.) позволили понять сущность явления, обнаруженного Герцем. Явление фотоэффекта обусловлено выбиванием под действием света отрицательно заряженных частиц из металлического катода разрядника.

Опытным путём Столетов установил три закона фотоэффекта:

1. Число фотоэлектронов, вырываемых из вещества за 1 с (фототок насыщения) прямо пропорционально интенсивности падающего света.

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно зависит от частоты света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества существует минимальная частота света ν_{min}*, называемая красной границей фотоэффекта, ниже которой фотоэффект невозможен.*

Кроме того, была *установлена практическая безынерционность фотоэффекта*: он сразу же возникает при освещении поверхности тела при условии, что частота падающего света больше красной границы фотоэффекта ($\nu > \nu_{min}$).

Законы фотоэффекта не удалось объяснить на основе электромагнитной волновой теории света. С точки зрения этой теории электромагнитная волна, достигнув поверхности металла, вызывает вынужденные колебания электронов, отрывая их от металла. Но тогда требуется время для «раскачки» электронов, и при малой освещённости металла должно возникнуть

заметное запаздывание между началом освещения и моментом вылета электронов. Далее, кинетическая энергия электронов, покидающих металл, должна зависеть от амплитуды вынуждающей силы и тем самым от напряжённости электрического поля в электромагнитной волне. Однако все эти выводы противоречат законам фотоэффекта.

Решение было найдено Альбертом Эйнштейном (1879-1955 гг.). Анализируя свойства электромагнитного излучения, Эйнштейн пришёл к выводу, что *сама электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов.*

Идеи Эйнштейна представляют собой отход от классической волновой оптики. Распространение света он рассматривает не как непрерывный волновой процесс, а как поток особых частиц (квантов), движущихся со скоростью света в вакууме. Поглощение света состоит в том, что фотоны передают всю свою энергию атомам и молекулам вещества. Из этого следует, что поглощение света, как и его излучение, происходит *прерывно*, отдельными порциями.

В 1905 г. Эйнштейн разработал квантовую теорию фотоэффекта, которая объяснила все закономерности этого явления.

В 1916 г. Эйнштейн ввёл понятие «световых квантов» – фотонов.

Фотоны – это кванты электромагнитного излучения, каждый из которых обладает энергией $h\nu$ и распространяется со скоростью света c.

По теории Эйнштейна энергия $h\nu$ фотона, падающего на вещество, расходуется на работу A выхода электрона из вещества и на сообщение электрону кинетической энергии $\frac{m\upsilon^2}{2}$.

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

8.3. Боровская модель атома и концепция квантования

Первый шаг на пути создания квантовой теории атомов был сделан датским физиком Нильсом Бором (1885-1962 гг.). 1913 г. Бор предложил модель атома водорода, в которой были использованы новые представления о квантовом характере излучения и поглощения света, о дискретности изменения физических характеристик микрообъектов. Он разработал эту модель на основе «планетарной» модели строения атома, предложенной в 1911 г. английским физиком Эрнестом Резерфордом (1871-1937 гг.). Согласно «планетарной» (ядерной) модели, атом состоит из положительно заряженного ядра и электронов, вращающихся вокруг ядра в его электрическом поле. Название «планетарная» отражает очевидную аналогию атома с Солнечной системой, в которой планеты движутся по некоторым определенным орбитам вокруг массивного притягивающего центра – Солнца.

Планетарная модель атома оказалась противоречивой с точки зрения классической физики.

Во-первых, на основе этой модели нельзя было объяснить факт существования атома, его устойчивость. Ведь движение электронов по орбитам происходит с ускорением. Согласно законам классической электродинамики, ускоренно движущийся заряд должен излучать электромагнитные волны определённой частоты. Следовательно, при движении электрона вокруг ядра атом должен непрерывно излучать энергию. Но уменьшение энергии приводит к уменьшению радиуса орбиты электрона. Следовательно, электрон должен двигаться по спирали, приближаясь к ядру. За ничтожно малое время электрон должен упасть на ядро, а атом – прекратить своё существование.

Во-вторых, с помощью планетарной модели невозможно было объяснить спектральные закономерности атомов. Действительно, при движении электрона по спирали с неизменной скоростью должна увеличиться круговая частота его вращения, а значит – непрерывно расти частота излучения, т.е. спектр излучения атома должен быть сплошным.

Таким образом, в модели Резерфорда атом является неустойчивой системой.

В действительности атомы весьма устойчивы и в невозбуждённом состоянии могут существовать неограниченно долго, совершенно не излучая электромагнитные волны. При этом, как показали эксперименты, они имеют не сплошные, а линейчатые спектры излучения.

Чтобы разрешить возникшие противоречия, Бор впервые заявил, что законы электромагнетизма неприменимы для исследования микромира, и предложил внести изменения в планетарную модель атома. Эти изменения он сформулировал в виде двух постулатов и правила квантования орбит.

Первый постулат Бора:

> *в атоме существует определённый набор устойчивых, стационарных орбит, двигаясь по которым электрон не излучает электромагнитную энергию.*

Правило квантования орбит: *на стационарной орбите момент импульса электрона квантуется* (*кратен постоянной Планка*)

$$m_e \upsilon_n r_n = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar,$$

где n – номер орбиты электрона (целое число, отличное от нуля); r_n – радиус n-й орбиты; υ_n – скорость электрона на этой орбите; m_e – масса электрона; $m_e \upsilon_n r_n$ – момент импульса электрона на этой орбите; h – постоянная Планка; $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – приведённая постоянная Планка.

Второй постулат Бора:

атом излучает или поглощает квант электромагнитной энергии при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую.

Находясь на некоторой из таких орбит с номером n, электрон имеет определённую энергию E_n. Он может перейти на орбиту, имеющую номер m, с большей энергией E_m, если атомом будет поглощён фотон с энергией, равной $E_m - E_n$. И наоборот, атом излучает световой квант (фотон) с такой же энергией, если электрон переходит с более удалённой орбиты на орбиту, расположенную ближе к ядру.

Энергия излучённого фотона равна разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu = E_m - E_n.$$

Эти постулаты легли в основу боровской модели атома.

Модель Бора не была квантовой в чистом виде. Наряду с неклассическими, квантовыми представлениями в ней использовались и типично классические (понятие траектории частицы, второй закон Ньютона). Это и ограничило возможность применения модели Бора только простейшей системой – атомом водорода. Тем не менее, успех модели Бора стал ещё одним свидетельством правильности предположения о дискретном, квантовом характере процессов, в которых участвуют микрочастицы. В 1922 году Бор получил Нобелевскую премию по физике «За заслуги в изучении строения атома», а предложенная им модель атома получила название модели Резерфорда-Бора.

В новых взглядах на процессы в микромире принципиально важной стала идея о возможности изменений физических величин, характеризующих микрообъект, лишь в рамках определённого набора «разрешённых» значений этих величин. Постоянную Планка стали рассматривать как величину, определяющую масштаб изменения квантующихся характеристик микрообъектов, как своеобразную порцию воздействия в микромире. Через неё выражаются все характеристики, которыми обмениваются взаимодействующие объекты, если хотя бы один из них относится к микромиру. Поэтому часто постоянную Планка называют ещё квантом действия.

Таким образом, непрерывное изменение физических величин, воспринимавшееся в классической физике как само собой разумеющееся, оказалось неприемлемым при описании микрообъектов.

В классической физике нет принципиального различия между малыми объектами и большими – отсутствует критерий такого различия. С развитием концепции квантования этот критерий появился. Он связан с квантом действия: малые воздействия – это те, которые по порядку величины сравнимы с квантом действия h. Соответственно, к малым объектам относят те, которые реагируют на малые воздействия.

8.4. Корпускулярно-волновой дуализм микрообъектов

В 1924 г. французский физик Луи де Бройль (1892-1987 гг.) выдвинул гипотезу о том, что *корпускулярно-волновой дуализм является универсальным свойством любых материальных объектов, а не только света*.

Фотон – не единственная элементарная частица в микромире. Любая микрочастица может проявлять себя одновременно и как *частица* (с импульсом p и энергией E), и как *волна* (с частотой ν и длиной волны λ). Причём формула, связывающая корпускулярные и волновые характеристики частицы, та же, что и для фотона

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

Поэтому длина волны де Бройля, которая соответствует движущейся микрочастице, обладающей импульсом p может быть определена по формуле

$$\lambda_{Б} = \frac{h}{p}.$$

Первое подтверждение гипотезы де Бройля было получено в 1927 г. в опытах по дифракции пучка электронов на монокристалле никеля, выполненных американскими физиками Клинтоном Дэвиссоном (1881-1958 гг.) и Лестером Джермером (1896-1971 гг.), а также независимо от них английским физиком Джозефом Томсоном (1892-1975 гг.), который направлял электроны на золотую фольгу. Картина дифракции электронов на кристаллической решётке оказалась сходной с известной дифракционной картиной рентгеновского излучения с длиной волны равной значению, определяемому соотношением де Бройля.

Волновые свойства частиц не являются их коллективной характеристикой, а присущи каждой частице в отдельности. Это подтвердили классические опыты по дифракции поочерёдно летящих электронов, выполненные в 1949 г. российскими физиками Валентином Александровичем Фабрикантом (1907-1992 гг.), Леонидом Михайловичем Биберманом (1907-1992 гг.) и Н.Б. Сушкиным.

Дифракция одиночных электронов оказалась абсолютно идентичной дифракции одиночных фотонов с длиной волны $\lambda = \lambda_{Б}$. Также, как и для фотона, можно говорить лишь о вероятности попадания электрона в окрестность определённой точки. Дифракционная картина возникает потому, что вероятность попадания электрона в разные точки экрана неодинакова.

Первоначально волны де Бройля воспринимали как реальный волновой процесс, как своеобразные «волны материи», аналогичные электромагнитным волнам. В ходе дальнейшего развития квантовой теории выявилась

некорректность таких представлений, а волны де Бройля получили вероятностную трактовку. На смену «волнам материи» пришли «волны вероятности».

Вероятностный подход к описанию процессов с участием микрообъектов был предопределён исходной *квантовой гипотезой*, в которой испускание излучения рассматривается как *дискретный процесс*.

8.5. Квантовая механика. Соотношение неопределенностей

Идея квантования физических величин, гипотеза корпускулярно-волнового дуализма и экспериментальные факты, получившие объяснение с помощью зародившихся квантовых представлений, были положены в основу построения одной из наиболее совершенных теорий современного естествознания – квантовой механики.

Квантовая механика – это теория, устанавливающая способ описания и законы движения микрочастиц (элементарных частиц, атомов, молекул, атомных ядер) и их систем (например, кристаллов), а также связь величин, характеризующих частицы и системы, с физическими величинами, непосредственно измеряемыми в макроскопических опытах.

Квантовая механика лежит в основе квантово-полевой картины мира и является базой для развития современного естествознания.

Двойственная природа микрочастиц поставила науку перед вопросом о границах применимости *понятий* классической физики в микромире.

В классической механике всякая частица движется по определенной траектории и в любой момент времени имеет вполне определенные (точные) значения координаты, импульса, энергии. По-другому обстоит дело с микрочастицей.

Волна этим свойством не обладает. Она не имеет координат. Нет смысла говорить о длине волны в данной точке пространства.

Тогда из корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц вытекает совершенно неожиданное правило: *если мы точно знаем координаты микрочастицы, то мы совсем не знаем её скорости и, наоборот, если частица имеет точно определённую скорость, мы ничего не можем сказать о её координатах* – принцип неопределённости, установленный немецким учёным Вернером Гейзенбергом (1901-1976 гг.)

Приведём простейшее рассуждение, приводящее к формулировке этого принципа (такие рассуждения называют мысленным экспериментом, провести его с помощью приборов не возможно).

Пусть мы хотим определить координату и скорость электрона. Для этого мы должны его осветить (свет в качестве измерительного устройства!) и зафиксировать координату x. Очевидно, что мы можем измерить координа-

ту электрона с точностью до длины волны света λ (точно также с помощью линейки можно измерить длину стола с точностью до минимального деления её шкалы – 1 мм). То есть точность определения координаты электрона $\Delta x \sim \lambda$. Для уточнения положения электрона надо использовать свет с возможно меньшей длиной волны.

Чтобы электрон был виден, с ним должен столкнуться хотя бы один световой квант, имеющий энергию $\varepsilon_\gamma = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$. При взаимодействии с электроном передаёт ему часть своей энергии, которая растёт при уменьшении длины волны света. Это приводит к изменению скорости и импульса электрона. Таким образом, при точном измерении координаты электрона $(\Delta x \to 0)$, его импульс оказывается совершенно неопределённым $(\Delta p_x \to \infty)$.

Для точного определения импульса электрона $(\Delta p_x \to 0)$ необходимо использовать свет с большой длиной волны. Однако при этом координата электрона оказывается совершенно неопределённой $(\Delta x \to \infty)$.

Пусть $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – неопределённости (абсолютные погрешности) координат движущейся частицы;

$\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$ – неопределённости проекций импульса частицы на соответствующие оси координат.

Неопределённость координаты частицы и неопределённость проекции импульса частицы на соответствующую ось координат связаны следующими соотношениями, установленным Гейзенбергом в 1927 году:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar, \ \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar, \ \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar, \qquad (8.1)$$

где $\hbar$ – приведённая постоянная Планка.

Неравенства (8.1) называются соотношениями неопределённостей Гейзенберга.

Из (8.1) следует, если микрочастица находится в состоянии с определённым значением координаты, то в этом состоянии соответствующая проекция её импульса оказывается менее определённой. Эта неопределённость принципиальная, её невозможно устранить никаким усовершенствованием измерительного устройства. Она является результатом неконтролируемого воздействия макроскопического измерительного объекта на изучаемый микрообъект. Таким образом, соотношение неопределённостей ограничивает экспериментально достижимую точность измерения характеристик квантовых объектов.

Соотношение неопределённостей справедливо и для других величин, произведение которых имеет размерность постоянной Планка. В частности, неопределённость полной энергии ΔE микрочастицы в некотором

квантовом состоянии и время Δt её пребывания в этом состоянии связаны условием

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar. \qquad (8.2)$$

Соотношение неопределённостей является предпосылкой недетерминистского, статистического описания микрообъектов. Оно приводит к пониманию того, что поведение микрочастиц носит вероятностный характер и взамен классического понятия траектории для микрочастицы следует использовать понятие распределения вероятности обнаружения частицы в различных точках пространства. Это относится и к движению электрона в атоме, которое не может быть описано совокупностью четко определённых орбит. Более верным является представление об «электронном облаке», частота посещения электроном каждой точки которого задаётся некоторой вероятностью, исчисляемой методами квантовой механики.

8.6. Волновая функция. Основное уравнение квантовой механики

В классической механике, состояние макроскопического тела однозначно определяется его координатами и скоростью. Принципиальное отличие квантовомеханического способа описания состояния системы от метода классической механики заключается в том, что с помощью квантовой механики можно найти лишь вероятность обнаружения микрообъекта в данной области пространства. Определить одновременно координаты и скорость (или импульс) микрочастицы в любой момент времени в принципе невозможно. Таким образом, квантовая механика даёт статистическое описание состояния микросистем, без использования понятия траектории движения и без определения координат как функций времени.

Один из основных постулатов квантовой механики гласит, что *состояние микрообъекта полностью описывается его волновой функцией, являющейся функцией пространственных координат и времени* (иногда её называют пси-функцией, поскольку волновую функцию принято обозначать греческой буквой ψ.

Аппарат, разработанный в квантовой механике, позволяет, проводя некоторые операции над волновой функцией, рассчитать все характеристики микрочастицы, доступные измерению и получить полную информацию о движении микрочастицы.

В 1926 г. немецкий физик Макс Борн (1882-1970 гг.) так сформулировал вероятностный смысл волновой функции в квантовой механике:

Квадрат модуля волновой функции $|\psi|^2$ определяет плотность вероятности того, что в момент времени t частица может быть обнаружена в окрестности точки с координатами x, y, z.

Самой же волновой функции придают смысл амплитуды вероятности.

Идея корпускулярно-волнового дуализма, высказанная де Бройлем, привела к поиску волнового уравнения, которое описывало бы поведение микрочастиц. Такое уравнение было найдено в 1926 г. австрийским физиком-теоретиком Эрвином Шрёдингером (1887-1961 гг.). Уравнение Шрёдингера является основным динамическим уравнением нерелятивистской квантовой механики и играет такую же фундаментальную роль, как уравнения движения Ньютона в классической механике и уравнения Максвелла в классической теории электромагнетизма. Уравнение Шрёдингера не выводится из известных ранее законов. Единственным доказательством его правильности является полное соответствие получаемых из него решений опытным данным.

Общее уравнение Шрёдингера, зависящее от времени, имеет вид:

$$\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi + U\left(x,y,z,t\right)\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t},$$

где $U\left(x,y,z,t\right)$ – потенциальная энергия микрочастицы, описывающая её взаимодействие с окружающими частицами или полями; m – её масса; $\Delta\psi$ – оператор Лапласа, равный сумме вторых частных производных функции ψ по всем координатам ($\Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}$); $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; $\hbar$ – приведённая постоянная Планка; ψ – искомая волновая функция.

Определив с помощью уравнения Шрёдингера волновую функцию, можно вычислить вероятность обнаружения частицы в окрестности любой точки рассматриваемой области пространства. Решение уравнения Шрёдингера позволяет определить и другие важные характеристики частицы, например, её полную энергию.

Таким образом, в отличие от классического подхода к описанию природы, в соответствии с которым моделируется сам объект, отображаемый совокупностью его точно установленных характеристик, в квантовой механике проявляется новый, неклассический подход. *С помощью уравнения Шрёдингера моделируется не сам объект, а его состояние*. Оно задаётся вероятностями тех или иных значений характеристик микрообъекта. Сами же вероятности однозначно задаются волновой функцией. Иными словами, в неклассической физике на смену концепции моделирования объекта приходит концепция моделирования состояний объекта.

В отличие от основного закона динамики в классической механике, уравнение Шрёдингера определяет вероятностное, статистическое поведение объектов микромира; предсказания квантовой теории носят вероятно-

стный характер. Таким образом, *квантовая механика является принципиально статистической теорией*.

Решая уравнение Шрёдингера, получают данные о поведении микросистемы в каких-то конкретных условиях. При этом по исходному значению волновой функции может быть определено её значение в любой последующий момент времени. Следовательно, волновое уравнение Шрёдингера позволяет описывать эволюцию микросистемы.

Приняв уравнение Шрёдингера как математическое выражение фундаментальных свойств микросистем, можно получить ряд замечательных следствий, отражающих объективно существующие закономерности. В частности, можно вывести правила квантования полной энергии замкнутой системы. Оказывается, что уравнение Шрёдингера имеет решение не при любых значениях полной энергии системы, а лишь при некоторых, называемых *собственными значениями.* Совокупность собственных значений энергии называется *спектром*. У свободной частицы спектр собственных значений энергии – сплошной. У частицы, заключённой в результате взаимодействия с другими частицами в ограниченный объём пространства, спектр собственных значений энергии дискретный.

Таким образом, идея квантованности энергетических состояний атома, которая у Бора была гениальной догадкой и формулировалась в качестве постулата, оказывается следствием уравнения Шрёдингера.

8.7. Основные принципы квантовой механики

Важнейшим принципом квантовой механики является принцип неопределённости Гейзенберга: *любая физическая система не может находиться в состояниях, в которых координаты её центра масс и скорость (или импульс – произведение скорости на массу) принимают одновременно вполне определённые точные значения*.

Одно из следствий принципа неопределённости состоит в изменении наших взглядов на принцип причинности.

Под причинностью мы понимаем наличие причинно-следственных связей между явлениями природы. Законы классической физики полностью определяют судьбу физической системы при условии, что вся необходимая информация о ней нам известна в некоторый определённый момент времени. Пример тому – астрономические расчёты движения небесных тел. Принцип причинности главенствовал в естествознании до начала XX века.

В квантовой механике мы никогда не знаем состояние системы с точностью большей, чем это допускается принципом неопределённости. Мы вынуждены перейти на вероятностное описание явлений микромира. По яркому выражению Эйнштейна: «…Природа играет в кости…». Заметим,

что в природе часто реализуются ситуации, формальная математическая вероятность которых ничтожно мала.

Соотношения неопределённостей Гейзенберга являются конкретным выражением более общего положения – так называемого принципа дополнительности.

Он был сформулирован в 1927 году Нильсом Бором. Суть принципа дополнительности по Бору сводится к следующему:

> *при экспериментальном исследовании микрообъекта могут быть получены точные данные либо о его энергиях и импульсах, либо о поведении в пространстве и времени. Эти две взаимоисключающие картины – энергетически-импульсная и пространственно-временная, – получаемые при взаимодействии микрообъекта с соответствующими макроскопическими измерительными приборами, дополняют друг друга.*

Частица и волна – две дополнительные стороны единого явления микромира. Квантовая концепция объединяет эти понятия, создавая целостный образ микрообъекта. С точки зрения принципа дополнительности соотношения неопределённостей можно рассматривать, как способ сохранить возможность описания неклассических объектов с помощью классических понятий – координаты и импульса. Этот способ заключается во взаимном ограничении области совместной применимости этих понятий.

Принцип дополнительности стал одной из основ современной картины мира, в которой признаётся *невозможность отделить мир от обозревающего его наблюдателя*.

Познающий субъект всегда оказывается активным, исследование реальности всегда сопровождается её изменением, а результат исследования зависит от того, как оно выполнялось. Полное представление о свойствах объекта требует взгляда на него с несовместимых точек зрения.

В последние годы жизни Бор пытался распространить идею дополнительности на многие аспекты человеческой жизни и мышления. Она оказалась весьма плодотворной и широко используется в естественных и общественных науках. Примером действия принципа дополнительности в широком его понимании является сам человек. С одной стороны, человек – одно из высших животных и многие его поступки направлены на удовлетворение чисто биологических потребностей. Однако, с другой стороны, в отличие от других животных, человек – разумное социальное существо. Эти два подхода не могут быть совмещены, поскольку первый подчёркивает принадлежность Homo sapiens к животному миру Земли, а второй выделяет из него, но они дополняют друг друга, демонстрируя парадоксальную целостность биологического и социального начал.

Ещё один из принципов КПКМ – принцип соответствия:

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

В физике XX в. принцип соответствия был сформулирован Бором, искавшим связи между новыми квантовыми представлениями и классическими теориями. Из соотношений неопределённостей видно, что с увеличением массы частицы ограничения, накладываемые ими, уменьшаются. Например, для пылинки массой 10^{-13} кг, координата которой определена с точностью до её размеров, т.е. $\Delta x = 10^{-6}$м, получаем неопределённость скорости пылинки $\Delta\upsilon_x$, равную 10^{-15} м/с. Неопределённость такой величины практически не будет сказываться ни при каких скоростях частицы. Для макроскопических тел соотношение неопределённостей не будет вносить никаких ограничений в возможность применить для них понятия координаты и скорости одновременно. Дело в том, что постоянная Планка в этих случаях может рассматриваться пренебрежимо малой величиной. Это приводит к тому, что квантовые свойства изучаемых объектов оказываются несущественными, а представления классической физики – полностью справедливыми.

Таким образом, классическая механика является предельным случаем квантовой механики.

Новым принципом КПКМ является принцип тождественности, согласно которому

невозможно экспериментально различить одинаковые частицы.

Этот принцип является одним из основных различий между классической и квантовой механикой. Действительно, в классической механике всегда можно различить два одинаковых шара, проследив их траектории до и после столкновения. В квантовой механике такая возможность отсутствует, так как мы можем определить только вероятность обнаружения частицы в той или иной точке пространства. Так как все электроны Вселенной тождественны, мы не имеем способа *пометить* один из них и *следить* только за ним.

Принцип тождественности логически не вытекает из остальных основных положений КПКМ, но можно доказать, что он не противоречит им. Его следует принять, поскольку он подтверждается всей совокупностью опытных фактов.

8.8. Основные положения квантово-полевой картины мира

В свете представленной квантово-полевой картины мира основные понятия физической картины мира получили новые обоснования.

Материя обладает корпускулярными и волновыми свойствами, т.е. каждый объект материи имеет свойства частицы и волны. Согласно концепции корпускулярно-волнового дуализма, *все поля квантуются, т.е. могут рассматриваться как совокупность частиц; с другой стороны, каждая элементарная частица может рассматриваться как квант некоторого поля.*

В КПКМ признаётся невозможность исчерпывающего описания движения. Для микрочастиц не имеет смысла понятие траектории движения, поскольку её задание предполагает точное знание координаты и скорости частицы в каждый момент времени, а это запрещено соотношением неопределённости. Движение рассматривается как частный случай физических взаимодействий. Взаимодействие рассматривается не только как результат порождения полей, но и как результат обмена виртуальными частицами – квантами соответствующего поля. Фундаментальных физических взаимодействий уже насчитывается четыре: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Их свойства определяются свойствами частиц – переносчиков взаимодействия. Каждое из взаимодействий характеризуется так называемой константой взаимодействия, которое определяет его сравнительную интенсивность, временем протекания и радиусом действия.

Выясняется фундаментальная роль принципиально непредсказуемых форм движения (тепловые и квантовые флуктуации, динамический хаос, мутации).

В квантово-полевой картине мира окончательно утверждаются представления об относительности пространства и времени; они перестают быть независимыми друг от друга и, согласно теории относительности, сливаются в едином четырехмерном пространстве-времени, которое не существует вне материальных тел.

Картина физической реальности в КПКМ с одной стороны включает характеристики исследуемого объекта; с другой стороны – условия наблюдения (метод познания), от которых зависит определённость этих характеристик. При описании объектов используются два класса понятий: пространственно-временные и энергетически-импульсные. Первые дают кинематическую картину движения, вторые – динамическую (причинную). Спецификой квантово-полевых представлений о закономерности и причинности является то, что они выступают в вероятностной форме, в виде статистических законов.

КПКМ впервые включила в себя наблюдателя, от присутствия которого зависят получаемые результаты исследований. Более того, был сформулирован так называемый антропный принцип, который утверждает, что *наш мир та-*

ков, каков он есть, только благодаря существованию человека. Появление человека стало считаться закономерным результатом эволюции Вселенной.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные идеи КПКМ.
2. Какие величины называются квантованными? Приведите примеры квантованных величин.
3. Расскажите об открытии электрона.
4. Опишите опыт Милликена, доказавшего дискретность электрического заряда.
5. Почему изучение теплового излучения явилось первым шагом к открытию квантовой механики?
6. Что такое ультрафиолетовая катастрофа? В чём заключается гипотеза, выдвинутая Планком для вывода закона распределения энергии в спектре абсолютно чёрного тела?
7. Какое физическое явление называется фотоэффектом? Сформулируйте три закона фотоэффекта.
8. Запишите и объясните уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
9. Чем отличались взгляды Планка и Эйнштейна на проблему квантования?
10. Что такое фотон? Чему равны энергия и импульс фотона?
11. В чём суть концепции корпускулярно-волнового дуализма света?
12. В чём заключалось противоречие планетарной модели строения атома с законами классической физики?
13. Сформулируйте квантовые постулаты Бора.
14. В чём заключается принципиальная новизна представлений о свойствах атомов в теории Бора?
15. В чём состоит гипотеза де Бройля?
16. Какие экспериментальные факты свидетельствуют о существовании волновых свойств у микрочастиц вещества?
17. Сформулируйте соотношение неопределённостей для координаты и импульса; для времени и энергии.
18. В чём заключается принципиальное отличие квантово-механического описания состояния системы от классического описания? Какова физическая интерпретация волновой функции?
19. Запишите основное уравнение нерелятивистской квантовой механики. Какие сведения о квантово-механической системе можно получить на основании решения уравнения Шрёдингера?
20. Сформулируйте основные принципы КПКМ: принцип неопределённости, принцип дополнительности, принцип тождественности, принцип соответствия.
21. Как следует понимать принцип причинности в рамках КПКМ?
22. Сформулируйте основные положения КПКМ.

9. НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭНТРОПИИ

9.1. Основные положения классической (равновесной) термодинамики

На протяжении тысячелетий работа машин и механизмов, используемых людьми в повседневной жизни, осуществлялась главным образом за счет мускульных усилий человека и животных. Для существенного облегчения физических нагрузок человек использовал различные приспособления (рычаги, колёса, блоки, наклонную плоскость).

Водяные колеса, изобретённые в Древнем Риме в 70-е гг. до н.э. для помола зерна, а также ветряные мельницы, впервые появившиеся в Персии в 644 г. н.э., (использующие соответственно энергию воды и ветра), позволили совершать значительно большую, чем прежде механическую работу.

Однако огромный запас энергии, находящейся внутри тел, практически до XVIII в. не был востребован цивилизацией. Исключение составляла лишь энергия пороха, разгонявшая до большой скорости снаряды и пули, используемая человечеством отнюдь не для созидательных, конструктивных целей.

Одним из важных направлений научно-технической революции XVIII в. был переход от применения механической энергии к использованию внутренней энергии, за счет которой может совершаться бóльшая работа.

К числу ученых, чьи труды легли в основу физики тепловых явлений, следует отнести:

– французского физика и инженера Бенуа Поль Эмиля Клапейрона (1799-1864), получившего уравнение состояния газа, впоследствии обобщённое Менделеевым в известное уравнение Клапейрона-Менделеева;

– немецкого физика Рудольфа Эммануэля (1822-1888), вошедшего в историю науки под латинским псевдонимом Клаузиус, подлинного основателя механической теории теплоты;

– французского физика Сади Карно (1796-1832), исследовавшего работоспособность тепловых машин;

– французского математика и физика Жан Батист Фурье (1768-1830), получившего дифференциальное уравнение теплопроводности и др.

Термодинамика (от греч. *therme* – тепло и *dynamikos* – силовой) – это наука, изучающая возможности использования внутренней энергии тел для совершения механической работы.

Различают термодинамику равновесных систем или систем, переходящих к равновесию (классическая, или равновесная термодинамика) и тер-

модинамику неравновесных систем (неравновесная термодинамика). Классическая термодинамика составляет основу так называемой термодинамической картины мира (ТКМ), которая сформировалась к середине XIX в. Неравновесная термодинамика получила развитие во второй половине XX века и играет особую роль при рассмотрении биологических систем и феномена жизни в целом.

Объектом изучения в термодинамике является термодинамическая система.

Термодинамическая система – это совокупность макроскопических тел, способных взаимодействовать между собой и с другими телами (внешней средой) – обмениваться с ними энергией и веществом.

Термодинамическая система имеет границы, отделяющие её от окружающей среды.

В зависимости от условий взаимодействия с другими системами различают изолированную, замкнутую, открытую и адиабатно изолированную термодинамические системы.

Термодинамическая система, которая не может обмениваться энергией и веществом с другими телами или системами, называется изолированной. В такой системе отдельные части (тела) могут взаимодействовать только между собой.

Термодинамическая система называется закрытой, если она не может обмениваться веществом с другими системами.

Термодинамическая система, которая может обмениваться веществом с другими системами, называется открытой.

Термодинамическая система, которая не может обмениваться теплотой с другими системами (окружающей средой), называется теплоизолированной или адиабатно изолированной.

Макроскопические величины (т.е. величины, которые характеризуют систему в целом), характеризующие физические свойства системы в данный момент времени, называются *термодинамическими параметрами состояния.*

К основным параметрам состояния, поддающимся непосредственному измерению простыми техническими средствами, относятся давление (p), удельный объём (υ) и абсолютная температура (T). Они называются *термическими* параметрами состояния.

Другими параметрами состояния являются внутренняя энергия (U), энтальпия (H) и энтропия (S). Они носят название *калорических* параметров состояния.

Совокупность физических свойств системы в рассматриваемых условиях называют *термодинамическим состоянием системы*.

Различают равновесное (стационарное) и неравновесное (нестационарное) состояния термодинамической системы.

Равновесным называется такое состояние, которое характеризуется при постоянных внешних условиях неизменностью параметров во времени и отсутствием в системе потоков.

Состояние термодинамической системы, при котором во всех ее частях температура одинакова, называют термическим равновесным состоянием.

Вне зависимости от начального состояния изолированной системы, в конце концов, в ней устанавливается термодинамическое равновесие; все части системы при этом имеют одинаковую температуру. Самопроизвольно выйти из этого состояния система не может. В этом заключается основной постулат термодинамики, называемый нулевым началом.

Более строгая формулировка нулевого начала термодинамики:

> *если система А находится в термодинамическом равновесии с системой В, а та, в свою очередь, с системой С, то система А находится в равновесии с С. При этом их температуры равны.*

Неравновесным *называется состояние системы, выведенной из состояния термодинамического равновесия.*

Состояние термодинамической системы, при котором значения параметров во всех её частях остаются неизменными во времени благодаря внешнему воздействию потоков вещества, энергии, импульса, заряда и т.п., называется стационарным. Если значения параметров изменяются во времени, то состояние термодинамической системы называется нестационарным.

Любое изменение в термодинамической системе, связанное с изменением хотя бы одного из ее параметров, называется термодинамическим процессом.

Различают равновесные и неравновесные процессы.

Равновесным процессом называется термодинамический процесс, представляющий собой непрерывную последовательность равновесных состояний. В таком процессе физические параметры изменяются бесконечно медленно, так что система все время находится в равновесном состоянии. Кроме того, все части системы имеют одинаковые температуру и давление.

Неравновесным процессом называется термодинамический процесс, представляющий собой последовательность состояний, среди которых не все являются равновесными. В неравновесном процессе различные части системы имеют разные температуры, давления, плотности, концентрации.

Если термодинамическая система выведена из состояния равновесия и предоставлена сама себе, то через некоторый промежуток времени она снова придет в состояние равновесия. Процесс перехода системы из неравновесного состояния в равновесное называется релаксацией, а время перехода в состояние равновесия — временем релаксации.

9.2. Внутренняя энергия и способы её изменения

Одним из важнейших параметров термодинамической системы является её внутренняя энергия.

Внутренняя энергия термодинамической системы складывается из кинетической энергии хаотического теплового движения составляющих её частиц (атомов или молекул) и потенциальной энергии их взаимодействия.

Поскольку внутренняя энергия однозначно определяется термодинамическими параметрами системы, то она является функцией состояния. Соответственно, изменение внутренней энергии ΔU при изменении состояния системы может быть рассчитано по формуле

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

где U_1 и U_2 – внутренняя энергия в первом и во втором состояниях. Изменение внутренней энергии не зависит от промежуточных состояний системы в процессе такого перехода, а определяется только начальным и конечным значениями энергии.

Внутренняя энергия термодинамической системы может изменяться двумя способами:

1. *При совершении механической работы.*

Механическая работа – это процесс, при котором изменение внутренней энергии тела (или системы тел) происходит за счет энергии упорядоченного движения других тел.

При совершении работы внутренняя энергия меняется в двух случаях: при трении и при неупругой деформации.

При совершении работы силой трения внутренняя энергия увеличивается за счёт уменьшения механической энергии; трущиеся тела нагреваются. Например, при помощи трения наши предки смогли получить огонь.

В случае неупругого сжатия тела его внутренняя энергия также увеличивается за счёт уменьшения механической энергии. В этом случае говорят – *над телом совершается работа*. При неупругом расширении тела его внутренняя энергия уменьшается и переходит в механическую энергию. В этом случае говорят – *тело совершает работу*.

2. *Путём теплообмена (теплопередачи).*

Теплопередача – это процесс, при котором изменение внутренней энергии тела (или системы тел) происходит за счёт внутренней энергии других тел.

В процессе теплопередачи внутренняя энергия системы изменяется без совершения работы. Например, если тело поместить в пламя горелки, его температура изменится, следовательно, изменится и его внутренняя энергия. Однако никакая работа здесь не совершалась, ибо не происходило видимого перемещения ни самого тела, ни его частей.

Существуют три способа теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.

Теплопроводностью называется процесс теплообмена между телами (или частями тела) при их непосредственном контакте, обусловленный тепловым хаотическим движением частиц тела.

Передача энергии при теплопроводности осуществляется от молекулы к молекуле по «цепочке». При этом переноса вещества не происходит.

Теплопроводность различных веществ не одинакова. Хорошей теплопроводностью обладают металлы, особенно серебро и медь. Плохая теплопроводность у дерева. Теплопроводность жидкостей меньше, чем у твёрдых тел. Ещё меньшей теплопроводностью обладают газы, в том числе воздух. Наличие в материалах пространств, заполненных воздухом, уменьшает их теплопроводность. Нулевой теплопроводностью обладает вакуум – пространство, в котором отсутствует вещество.

Конвекция – это способ переноса внутренней энергии потоками движущихся жидкости или газа из одних областей занимаемого ими объема в другие.

При нагревании чайника на плите теплопроводность обеспечивает поступление теплоты через дно чайника к нижним (пограничным) слоям воды, однако нагревание внутренних слоев воды является результатом конвекции, приводящей к перемешиванию нагретой и холодной воды.

При конвекции происходит перенос вещества – внутренняя энергия переносится вместе с частицами вещества.

Различают естественную и вынужденную конвекцию.

Естественная конвекция возникает из-за действия Архимедовой силы. Нагретая жидкость или газ расширяются, их плотность уменьшается, а действующая на них Архимедова сила, возрастает. Под действием этой силы нагретое вещество поднимается вверх, унося с собой внутреннюю энергию. На место ушедшего вещества притекает менее нагретое вещество. Затем это вещество нагревается и весь процесс повторяется.

Примерами естественной конвекции являются нагревание воздуха в комнате от батарей водяного отопления, ветры, дующие над поверхностью земного шара.

Вынужденная конвекция происходит при перемешивании жидкости какими-то внешними телами (мешалкой, ложкой, насосом и т.д.).

Тепловое излучение – это перенос внутренней энергии от одного тела к другому посредством электромагнитных волн.

При этом отсутствует механический контакт нагревателя и получателя теплоты. Например, при поднесении руки на небольшое расстояние к лампе накаливания Вы почувствуете ее тепловое излучение. Земля получает энергию от Солнца также за счет теплового излучения.

Электромагнитные волны распространяются вне зависимости от наличия вещества, поэтому излучение может осуществляться и через вакуум, где вещество вообще отсутствует.

Излучает каждое нагретое тело. При этом, чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает. Мощным источником излучения энергии является Солнце, излучающая поверхность которого имеет температуру около 6000ºС.

При попадании излучения на поверхность тела оно частично поглощается, а частично отражается. К увеличению внутренней энергии и нагреванию тел приводит поглощение.

Доля отражённого излучения зависит от цвета тела. Лучше всего отражают тела белого и серебристого цвета. Поэтому эти тела меньше всего поглощают излучение и меньше других нагреваются. Чтобы не перегреться в летний день, лучше выбрать одежду и головной убор белого цвета.

Хуже всего отражают тела чёрного цвета. Они поглощают почти всё излучение, и больше всего нагреваются. Например, чтобы вода в бочке сильно нагревалась при поглощении солнечного излучения, бочку красят в чёрный цвет.

9.3. Первое начало термодинамики

В общем случае внутренняя энергия термодинамической системы может изменяться одновременно как за счёт теплообмена с окружающими телами, так и за счёт совершения работы внешними силами.

Первый закон термодинамики (закон сохранения энергии для тепловых процессов) определяет количественное соотношение между изменением внутренней энергии системы ΔU, количеством теплоты Q, подведённым к ней, и суммарной работой внешних сил $A_{\text{вн}}$, действующих на систему.

Первый закон термодинамики:

Изменение внутренней энергии системы при её переходе из одного состояния в другое равно сумме количества теплоты, подведённого к системе извне, и работы внешних сил, действующих на неё:

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}.$$

Для изолированной системы, которая не обменивается теплотой с окружающими телами (Q=0) и над которой не совершается работа внешних сил ($A_{\text{вн}}$=0),

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0$$

или

$$U_1 = U_2.$$

Внутренняя энергия замкнутой, изолированной системы сохраняется.

В термодинамике наибольший интерес представляет преобразование внутренней энергии в работу, совершаемую системой. Эта работа отличается от работы внешних сил только знаком:

$$A_{\text{вн}} = -A. \tag{9.1}$$

С учётом соотношения (9.1) первый закон термодинамики можно сформулировать так:

Количество теплоты, подведённое к системе, идёт на изменение её внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:

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

Современная жизнь человека невозможна без использования самых разнообразных машин, с помощью которых человек добывает нефть, уголь, руду, обрабатывает землю, собирает урожай, строит дома, дороги, совершает поездки по земле, по воздуху, по воде.

Основным общим свойством всех машин является их способность совершать работу. Многие изобретатели в прошлом пытались построить машину, способную совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Машину с такими свойствами называют *вечным двигателем первого рода*. Все эти попытки окончились неудачей. Невозможность создания вечного двигателя первого рода подтверждает тем самым первый закон термодинамики. Согласно первому закону термодинамики, работа A, произведённая машиной, равна:

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

Любая машина может совершать работу над внешними телами только за счёт получения извне некоторого количества теплоты или уменьшения её внутренней энергии.

9.4. Применение первого закона термодинамики к различным процессам

Используя первый закон термодинамики, рассмотрим различные процессы в газах, сопровождающиеся изменениями внутренней энергии. Начнём с процессов в идеальном газе.

Идеальным газом называют идеализированную модель реальных газов, удовлетворяющую следующим условиям:

а) потенциальная энергия взаимодействия молекул пренебрежимо мала по сравнению с кинетической энергией их хаотического движения;

б) удары молекул о стенки сосуда являются абсолютно упругими;

в) собственный объем молекул пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда, в котором находится газ;

г) тепловое равновесие по всему объему достигается мгновенно.

Процесс, при котором один из макроскопических параметров состояния данной массы газа остаётся постоянным, называется изопроцессом.

1) *Изотермическим* называется процесс, протекающий при постоянной температуре $(T = \text{const})$.

Почти одновременно в XVII в. английским учёным Робертом Бойлем и французским физиком Э. Мариоттом была экспериментально установлена зависимость давления газа от его объёма при постоянной температуре.

Закон Бойля-Мариотта:

Давление данной массы газа ($m = \text{const}$) при постоянной температуре изменяется обратно пропорционально его объёму

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}. \tag{9.2}$$

Из уравнения (9.2) следует, что $p_1V_1 = p_2V_2$, то есть для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления p газа на его объем V остается величиной постоянной.

$$pV = \text{const}. \tag{9.3}$$

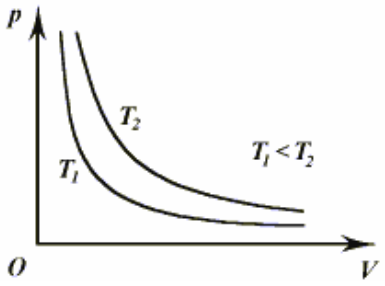


Рис. 9.1

Графически в координатах p, V изотермические процессы изображаются при различных значениях температур семейством гипербол $p \sim \frac{1}{V}$, которые называются *изотермами*. Так как коэффициент пропорциональности в этом соотношении увеличивается с ростом температуры, то изотерма, соответствующая большему значению температуры, располагается выше изотермы, соответствующей меньшему значению температуры (рис. 9.1).

Так как при изотермическом процессе постоянна температура ($\Delta T = 0$), то внутренняя энергия газа не изменяется ($\Delta U = 0$).

При изотермическом процессе количество теплоты, переданное газу от нагревателя, полностью расходуется на совершение работы:

$$Q = A$$

2) Изобарным называется процесс, протекающий при постоянном давлении $(p = \text{const})$.

Зависимость объема газа от температуры при постоянном давлении была установлена французским физиком и химиком Жозефом Гей-Люссаком (1802 г.).

Закон Гей-Люссака:

Для данной массы газа при постоянном давлении отношение объёма газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},\ \textit{или}\ \frac{\mathrm{V}}{T} = \mathrm{const}. \qquad (9.3)$$

В координатах V, T изобарные процессы при разных значениях давления изображаются семейством прямых линий (рис. 9.2), которые называются *изобарами*.

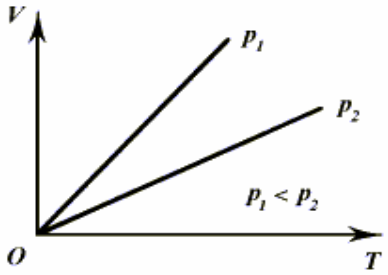


Рис.9.2

При изобарном расширении газа подведённое к нему количество теплоты расходуется на увеличение его внутренней энергии ($\Delta U > 0$) и на совершение газом работы ($A > 0$):

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

3) Изохорным называется процесс изменения состояния данной массы газа при постоянном объеме $\left(V = \mathrm{const}\right)$.

Исследование зависимости давления данной массы газа от температуры при неизменном объёме провёл в 1787 г. французский физик Жак Шарль. Он установил, что давление данной массы при постоянном объёме изменяется прямо пропорционально термодинамической температуре.

Закон Шарля:

Для данной массы газа отношение давления газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2},\ \textit{или}\ \frac{p}{T} = \mathrm{const}. \qquad (9.4)$$

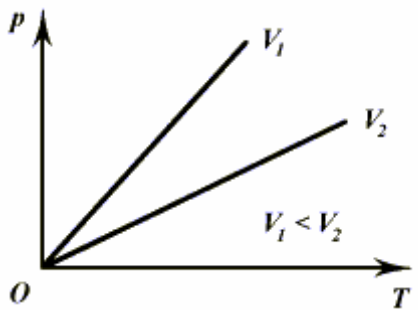


Рис.9.3

В координатах p, T изохорные процессы для данной массы газа при различных значениях объема изображаются семейством прямых линий, которые называются *изохорами*. Большим значениям объема соответствуют изохоры с меньшим наклоном к оси температур (рис. 9.3).

При изохорном процессе объём газа остаётся постоянным ($\Delta V = 0$), поэтому газ не совершает работу ($A = 0$).

Изменение внутренней энергии газа происходит благодаря теплообмену с окружающими телами:

$$Q = \Delta U.$$

9.5. Адиабатный процесс

Для наиболее эффективного преобразования внутренней энергии газа в механическую работу необходимо предотвратить возможные потери внутренней энергии в результате теплопередачи окружающим телам. Для этого систему теплоизолируют.

Теплоизолированной называют систему, не обменивающуюся энергией с окружающими телами ($Q = 0$).

Термодинамический процесс в теплоизолированной системе называют адиабатным.

Процесс можно считать адиабатным даже без теплоизолирующей оболочки, если скорость его столь велика, что за время процесса не происходит заметного теплообмена между системой и окружающими телами.

Для адиабатного процесса первый закон термодинамики имеет вид

$$0 = \Delta U + A,$$

или

$$A = -\Delta U. \qquad (9.5)$$

Согласно формуле (9.5), при адиабатном расширении газ сам совершает положительную работу ($A>0$) за счёт своей внутренней энергии. При этом внутренняя энергия газа уменьшается (газ охлаждается).

Наоборот, если внешняя сила совершает работу над газом ($A<0$), например, при сжатии газа, то внутренняя энергия его увеличивается (газ нагревается).

Зависимость давления газа от его объема при адиабатном процессе изображается кривой, называемой адиабатой (рис. 9.4).

Адиабата идет круче изотермы. Это объясняется тем, что при адиабатном расширении давление газа уменьшается не только за счет увеличения объема, как при изотермическом процессе, но и за счет уменьшения его температуры.

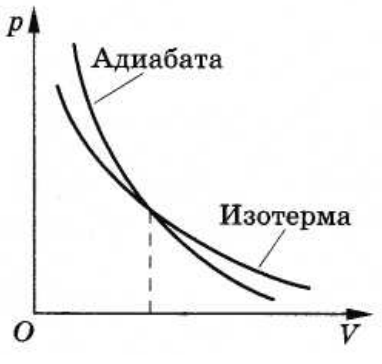


Рис.9.4

Адиабатные процессы широко используются в технике. Например, резкое нагревание воздуха при быстром сжатии нашло применение в дизельных двигателях. При сжатии поршнем воздуха, находящегося в цилиндре, его температура значительно возрастает. Впрыскивание жидкого топлива в конце такта сжатия приводит к его воспламенению и резкому возрастанию давления рабочей смеси, вызывающему ход поршня в противоположном направлении. Широкое распространение дизельных двигателей объясняется, прежде всего, дешевизной дизельного топлива.

9.6. Круговые процессы (циклы). Обратимые и необратимые процессы

Круговым процессом (циклом) называется такой процесс, при котором система, проходит через ряд состояний и возвращается в исходное состояние.

Такой процесс можно изобразить замкнутой кривой в осях p, V, где p – давление в системе; V – объём системы (рис. 9.5).

Замкнутая кривая (рис. 9.5) состоит из двух участков: расширения (1 – 2), где объём увеличивается и сжатия (2 – 1), где объём уменьшается.

Работа A, совершаемая за цикл, определяется площадью, охваченной замкнутой кривой. Цикл, который протекает по часовой стрелке (через расширение, а потом сжатие) называется *прямым* (рис. 9.5). Он используется в тепловых машинах. Цикл, который протекает против часовой стрелки (через сжатие, а потом расширение), называется *обратным* (рис. 9.6). Он используется в холодильных машинах.

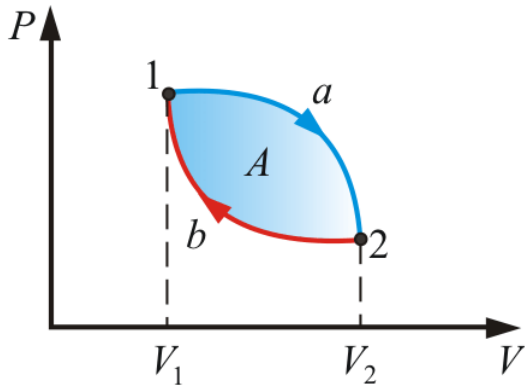


Рис.9.5

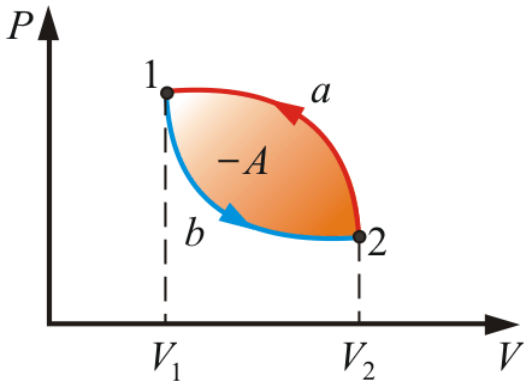


Рис.9.6

В результате кругового процесса система возвращается в исходное состояние. Следовательно, изменение внутренней энергии системы $\Delta U = 0$

Поэтому, согласно первому началу термодинамики, работа, совершаемая за цикл, равна количеству полученной извне теплоты $Q = A$.

Однако в результате кругового процесса система может, как получать теплоту, так и отдавать. Если система получает Q_1 теплоты, а отдаёт Q_2, то термический коэффициент полезного действия для кругового процесса равен

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}.$$

Все термодинамические процессы, в том числе и круговые, делят на две группы: обратимые и необратимые.

Обратимые процессы могут происходить как в прямом, так и в обратном направлении. В идеальном случае, если процесс происходит сначала в прямом, а затем в обратном направлении и система возвращается в исходное состояние, то в окружающей среде не происходит никаких изменений. Обратимыми являются равновесные процессы, представляющие собой бесконечно медленные процессы, состоящие из последовательности равновесных состояний. Обратимые процессы – это идеализация реальных процессов, при которых всегда происходит некоторая потеря энергии (на трение, теплопроводность и т.д.).

Процесс называется *необратимым*, если он протекает так, что после его окончания систему нельзя вернуть в начальное состояние через прежние промежуточные состояния.

9.7. Тепловые двигатели

Тепловой двигатель – устройство, преобразующее внутреннюю энергию топлива в механическую работу.

Механическая работа в двигателе совершается при расширении рабочего вещества, перемещающего поршень в цилиндре. Для цикличной, непрерывной работы двигателя необходимо возвращения поршня в первоначальное положение, т.е. сжатие рабочего вещества. Легко сжимаемым является вещество в газообразном состоянии, поэтому в качестве рабочего вещества в тепловых двигателях используется газ или пар. Работа теплового двигателя состоит из периодически повторяющихся процессов расширения и сжатия газа. Сжатие газа не может быть самопроизвольным, оно происходит только под действием внешней силы, например, за счёт энергии, запасённой маховиком двигателя при расширении газа.

Полная механическая работа A складывается из работы расширения газа $A_{\text{расш}}$ ($A_{\text{расш}} = p_{\text{расш}}\Delta V$, $A_{\text{расш}} > 0$) и работы $A_{\text{сж}}$ ($A_{\text{сж}} = p_{\text{сж}}\Delta V$), совершаемой внешними силами давления на газ при его сжатии. Так при сжатии объём газа уменьшается, то $A_{\text{сж}} < 0$, поэтому

$$A = A_{\text{расш}} - \left|A_{\text{сж}}\right|.$$

Для получения положительной полной механической работы ($A>0$) необходимо, чтобы работа сжатия газа была меньше работы расширения. Изменение объёма ΔV газа при расширении и сжатии должно быть одинаковым из-за цикличности работы двигателя. Следовательно, давление газа при сжатии должно быть меньше его давления при расширении. При одном и том же объёме давление газа тем меньше, чем ниже его температура, поэтому перед сжатием газ должен быть охлаждён, т.е. приведён в контакт с холодильником – телом, имеющим более низкую температуру. Для получения механической работы в тепловом двигателе при циклическом процессе расширение газа должно происходить при более высокой температуре, чем сжатие. Таким образом, *необходимым условием для циклического получения механической работы в тепловом двигателе является наличие нагревателя и холодильника.*

Очевидно, что при расширении или сжатии газа должны быть использованы процессы, позволяющие исключить уменьшение энергии горячего тела, которое происходило бы без совершения работы. Такими процессами являются *изотермический* и *адиабатный*.

Впервые наиболее экономичный циклический процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат, был предложен французским физиком и инженером С. Карно в 1824 г.

Прямой цикл Карно, в котором в качестве рабочего тела используется идеальный газ, заключенный в сосуд с подвижным поршнем, изображен на рис. 9.7.

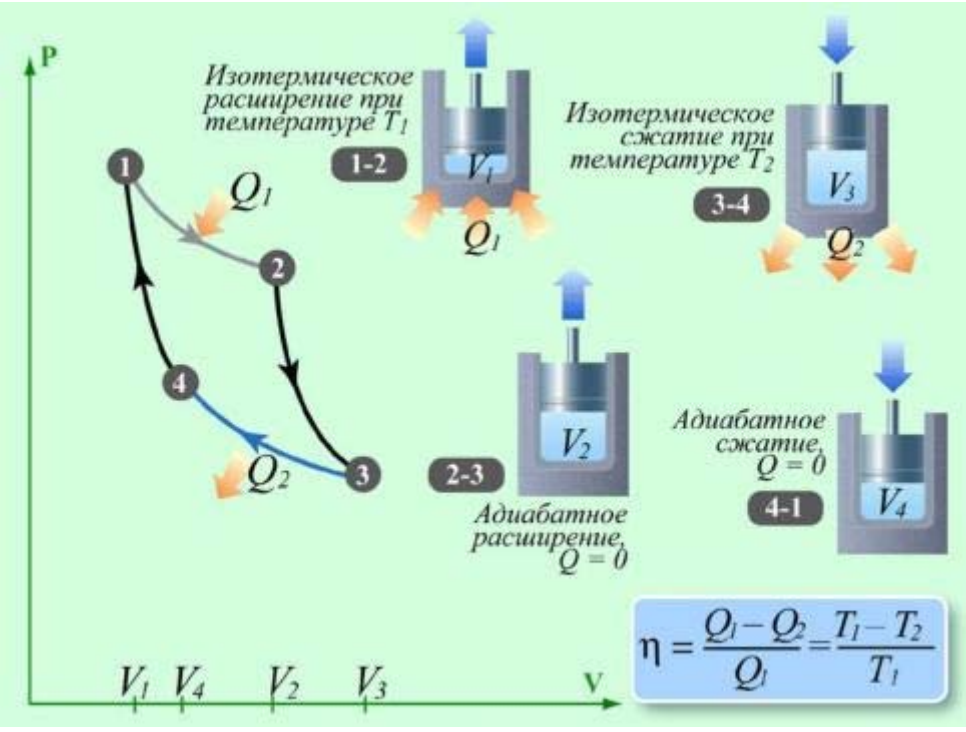


Рис. 9.7

В процессе изотермического расширения от объёма V_1 до объёма V_2 на участке (1-2) газ находится в тепловом контакте с горячим тепловым резервуаром (нагревателем), имеющим температуру T_1. При этом газ получает от нагревателя количество теплоты Q_1. Расширяясь при постоянной температуре ($T_1 = \text{const}$) газ совершает работу $A_{12} = Q_1$.

В точке 2 цилиндр полностью изолируется от внешней среды (теплообмена нет) и при дальнейшем движении поршня вверх уменьшение давление и увеличение объёма от значения V_2 до значения V_3 происходит адиабатно по кривой (2-3). На этом участке газ совершает работу $A_{23} = -\Delta U$ ($A_{23} > 0$). Температура газа при адиабатном расширении уменьшается до значения T_2. Газ охлаждается (T_2 – температура холодильника). На следующем участке (3-4) газ находится в тепловом контакте с холодным тепловым резервуаром (холодильником) при температуре $T_2 < T_1$. Происходит процесс изотермического сжатия от объёма V_3 до объёма V_4 (поршень движется вниз), в ходе которого газ отдает холодильнику количество теплоты $Q_2 = A_{34}$ ($Q_2 < 0$). Так как в процессе (3-4) $T_2 = \text{const}$, то внутренняя энергия газа не изменяется. В точке 4 газ вновь изолируется от внешней среды и на последнем участке (4-1) происходит адиабатное сжатие от объёма V_4 до V_1. При этом внешние силы совершают над газом работу A_{41} ($A_{41} < 0$), за счёт которой его внутренняя энергия возрастает ($A_{41} = \Delta U$), а температура увеличивается до значения T_1.

Полная работа A, совершаемая газом за цикл, равна сумме работ на отдельных участках: $A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$. На диаграмме ($p$, V) эта работа равна площади цикла.

Карно выразил коэффициент полезного действия цикла через температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Анализ этого выражения позволяет сделать следующие выводы:

1) КПД тем больше, чем больше T_1 и меньше T_2;

2) КПД всегда меньше единицы;

3) КПД равен нулю при $T_1 = T_2$.

4) КПД был бы равен 100 % , если бы температура холодильника T_2 была равна абсолютному нулю.

Цикл Карно замечателен тем, что на всех его участках отсутствует соприкосновение тел с различными температурами. Любое состояние рабочего тела в цикле является квазиравновесным, т.е. бесконечно близким к состоянию теплового равновесия с окружающими телами (тепловыми резервуарами или термостатами). Цикл Карно исключает теплообмен при конечной разности температур рабочего тела и окружающей среды (термо-

статов), когда тепло может передаваться без совершения работы. Поэтому цикл Карно – наиболее эффективный круговой процесс из всех возможных при заданных температурах нагревателя и холодильника.

Любой участок цикла Карно и весь цикл в целом может быть пройден в обоих направлениях. Обход цикла по часовой стрелке соответствует тепловому двигателю, когда полученное рабочим телом тепло частично превращается в полезную работу. Обход против часовой стрелки соответствует холодильной машине, когда некоторое количество теплоты отбирается от холодного резервуара и передается горячему резервуару за счет работы внешних сил. Поэтому идеальное устройство, работающее по циклу Карно, называют обратимой тепловой машиной.

Обратный цикл Карно лежит в основе действия тепловых насосов. В отличие от холодильных машин тепловые насосы должны как можно больше тепловой энергии отдавать горячему телу, например системе отопления. Часть этой энергии отбирается от окружающей среды с более низкой температурой, а часть – получается за счет механической работы, производимой, например, компрессором.

В реальных двигателях не удаётся осуществить цикл, состоящий из идеальных изотермических и адиабатных процессов. Кроме того, в реальных двигателях всегда существуют потери энергии на трение. Поэтому КПД цикла, осуществляемого в реальных двигателях, всегда меньше, чем КПД цикла Карно (при одних и тех же температурах нагревателей и холодильников):

$$\eta < \eta_{\text{ид}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Карно вывел теорему, носящую теперь его имя:

> *из всех периодически действующих тепловых машин, имеющих одинаковые температуры нагревателей (T_1) и холодильников (T_2), наибольшим КПД обладают обратимые машины; при этом КПД обратимых машин, работающих при одинаковых температурах нагревателей (T_1) и холодильников (T_2), равны друг другу и не зависят от природы рабочего тела).*

9.8. Тепловые двигатели и охрана окружающей среды

Тепловые двигатели – необходимый атрибут современной цивилизации. С их помощью вырабатывается около 80 % электроэнергии. Без тепловых двигателей невозможно представить современный транспорт. В то же время повсеместное использование тепловых двигателей связано с отрицательным воздействием на окружающую среду.

Сжигание топлива сопровождается выделением в атмосферу углекислого газа, способного поглощать тепловое инфракрасное излучение поверхности Земли. Рост концентрации углекислого газа в атмосфере, увеличивая поглощение инфракрасного излучения, приводит к повышению её температуры (*парниковый эффект*). Ежегодно температура атмосферы Земли повышается на 0,05°С. Этот эффект может создать угрозу таяния ледников и катастрофическое повышение уровня Мирового океана.

Продукты сгорания топлива существенно загрязняют окружающую среду. Углероды, вступая в реакцию с озоном, находящимся в атмосфере, образуют химические соединения, неблагоприятно воздействующие на жизнедеятельность растений, животных и человека.

Потребление кислорода при горении топлива уменьшает его содержание в атмосфере.

Для охраны окружающей среды:

– широко используют очистные сооружения, препятствующие выбросу в атмосферу вредных веществ;

– резко ограничивают использование соединений тяжелых металлов, добавляемых в топливо;

– разрабатывают двигатели, использующие водород в качестве горючего (в этом случае выхлопные газы состоят из безвредных паров воды);

– создают автомобили, использующие солнечную энергию.

9.9. Энтропия

В 1865г. немецким физиком Робертом Клаузиусом было установлено, что в обратимых процессах сохраняется некоторая физическая величина *S*. Клаузиус назвал её энтропией.

Энтропия – это однозначная функция состояния системы, полный дифференциал *dS,* которой равен приведённому количеству теплоты $\frac{\delta Q}{T}$:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}, \tag{9.6}$$

где δQ – малое количество теплоты, сообщённой системе или отведённой от неё при малом изменении её состояния; T – температура системы, находящейся в контакте и тепловом равновесии с теплоотдатчиком или теплоприёмником.

Таким образом, Клаузиус определил изменение энтропии термодинамической системы при обратимом процессе как тепло, переданное системе, при постоянной температуре:

Например, при температуре 0°С, вода может находиться в жидком состоянии и при незначительном внешнем воздействии начинает быстро

превращаться в лед, выделяя некоторое количество теплоты. При этом температура вещества так и остается 0°С. Изменяется состояние вещества, сопровождающееся выделением тепла, вследствие изменения структуры. Энтропия – это количественная мера той теплоты, которая не переходит в работу.

Согласно определению, энтропия является функцией состояния, то есть не зависит от способа достижения этого состояния, а определяется параметрами данного состояния.

Поскольку энтропия является функцией состояния, то в левой части равенства (9.6) стоит её полный дифференциал. Напротив, количество теплоты является функцией процесса, в котором эта теплота была передана, поэтому δQ не является полным дифференциалом.

Изменение энтропии системы ΔS при переходе её из состояния 1 в состояние 2 определяется только разностью значений S_1 и S_2:

$$\Delta S = S_2 - S_1,$$

где S_1 – энтропия системы в состоянии 1; S_2 – энтропия системы в состоянии 2.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}.$$

В любом обратимом тепловом процессе

$$\Delta S = \oint \frac{\delta Q}{T} = 0. \qquad (9.7)$$

В термодинамике доказывается, что энтропия системы, совершающей необратимый процесс, возрастает:

$$\Delta S > 0. \qquad (9.8)$$

Выражения (9.7) и (9.8) относятся только к **замкнутым системам**. Если же система не замкнута (обменивается теплотой с внешней средой), то ее энтропия может вести себя любым образом.

Соотношения (9.7) и (9.8) можно представить в виде неравенства Клаузиуса

$$\Delta S \geq 0, \qquad (9.9)$$

т. е. *энтропия замкнутой системы может либо возрастать (в случае необратимых процессов), либо оставаться постоянной (в случае обратимых процессов*).

Таким образом, понятие энтропии позволяет, в случае изолированных систем, отличать обратимые процессы от необратимых.

9.10. Вероятностный смысл энтропии

Более глубоко смысл энтропии вскрывается в статистической физике, где энтропия связывается с термодинамической вероятностью состояния системы.

Термодинамическая вероятность W состояния системы – это число способов, которыми может быть реализовано данное состояние макроскопической системы, или число микросостояний, осуществляющих данное макросостояние.

Согласно определению, $W \geq 1$, т. е. термодинамическая вероятность не есть вероятность в математическом смысле (последняя меньше, либо равна 1).

В 1877 году австрийский физик Людвиг Больцман установил связь энтропии S с термодинамической вероятностью состояния системы. Формулу, выражающую эту связь, записал (и назвал формулой Больцмана) немецкий физик Макс Планк:

$$S = k \ln W ,$$

где k – постоянная Больцмана (k=1,38·10^{-23} $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$).

Согласно формуле Больцмана, *энтропия данной системы, находящейся в определенном состоянии, пропорциональна натуральному логарифму термодинамической вероятности этого состояния*:

Следовательно, энтропия может рассматриваться как мера вероятности состояния термодинамической системы.

Известно, что, материальная система, предоставленная самой себе, самопроизвольно переходит в состояние равновесия. Это состояние системы является наиболее вероятным. Следовательно, в предоставленной самой себе (изолированной) материальной системе (в которой отсутствует обмен энергией с окружающей средой) протекают только такие процессы, в которых энтропия увеличивается. *В состоянии равновесия энтропия системы максимальна.*

Однако, при удалении системы от исходного состояния к равновесию, первоначальный порядок в ней нарушается и заменяется беспорядком. Чем дальше система от исходного состояния, тем больше беспорядка в ней.

Формула Больцмана позволяет дать энтропии следующее статистическое толкование: *энтропия является мерой беспорядка («хаоса») в системе.*

Так как реальные процессы необратимы (самопроизвольно система из состояния равновесия выйти не может), то можно утверждать, что все процессы в замкнутой системе ведут к увеличению её энтропии – *принцип возрастания энтропии.*

Отметим, однако, что эти утверждения имеют место для систем, состоящих из очень большого числа частиц, но могут нарушаться в системах с малым числом частиц. Для «малых» систем могут наблюдаться флуктуа-

ции, т. е. энтропия и термодинамическая вероятность состояний замкнутой системы на определенном отрезке времени могут убывать, а не возрастать, или оставаться постоянными.

9.11. Энтропия как мера низкокачественности энергии

Разные формы энергии обладают различным качеством. О качестве данного вида энергии можно судить по легкости её превращения в другие виды энергии.

Например, энергию электрического тока достаточно легко превратить в равное количество тепловой энергии. Для этого достаточно взять нагревательный прибор (электрический чайник или утюг) и воткнуть вилку в розетку. При этом, превращение электрической энергии в тепловую произойдет со стопроцентной эффективностью.

Обратная задача – превращение тепловой энергии в электрическую гораздо сложнее. Для её решения необходимо построить дорогостоящую тепловую электростанцию, на которой теплота, выделяющаяся при сгорании топлива, идет на нагревание воды. Вода превращается в пар, который крутит турбину. Турбина вращает ротор генератора, который, наконец, вырабатывает электрический ток. В итоге же оказывается, что даже самая лучшая тепловая электростанция превращает в электроэнергию не больше 40 % тепловой энергии сгорания топлива. И дело тут не в некомпетентности инженеров, проектировавших и строивших станцию, а в том, что сама природа не позволяет добиться большего. Просто тепловая энергия – это энергия менее качественная (менее «ликвидная»), чем электрическая.

Можно выстроить иерархию различных видов энергии по её качеству. На верхней ступени, кроме электрической, находится, например, механическая энергия. Именно благодаря этому КПД гидроэлектростанций, которые используют механическую энергию падающий воды, гораздо выше, чем у тепловых – до 98 %. Чуть ниже по качеству химическая энергия, заключенная, на пример, в бензине или в аккумуляторах. Самым низким качеством обладает тепловая энергия, причем качество её тем ниже, чем ниже температура тела.

Открытие энтропии дало возможность от общих рассуждений о качестве энергии перейти к её точной количественной характеристике. Установлено, что если система обладает запасом энергии U, то в полезную работу можно превратить не весь этот запас, а лишь его часть, которая называется свободной энергией:

$$F = U - TS.$$

Свободную энергию F и следует считать мерой качества энергетического запаса системы. Видно, что она тем меньше, чем больше энтропия S

(рис.9.8). Поэтому *энтропия системы является мерой некачественности её энергетического запаса*.

С учетом этого, закон возрастания энтропии можно сформулировать так:

энергетический запас замкнутой системы, оставаясь неизменным количественно, с течением времени неуклонно ухудшается качественно.

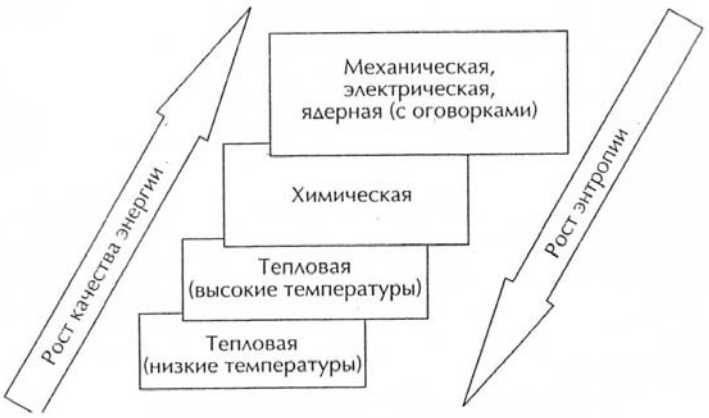


Рис. 9.8

Энергетические проблемы цивилизации заключаются не в том, чтобы найти источник энергии для удовлетворения потребностей человека, а в том, чтобы найти источник высококачественной энергии. Будь иначе, мы могли бы буквально черпать энергию из океана. В океанах находится $1{,}3 \cdot 10^{21}$ литров воды. При охлаждении каждого литра воды на один градус, он отдает 4200 Дж теплоты. Это означает, что если бы можно было тепловую энергию полностью превратить в электрическую, то достаточно было бы ежегодно охлаждать океан всего лишь на 0,0002ºС, чтобы полностью покрыть все современные энергетические потребности человечества, составляющие около 10^{21} Дж в год. Идея кажется тем более заманчивой, что практически вся производимая электроэнергия, в конечном счете, превращается в тепло, нагревающее тот же океан. Она, однако, неосуществима: запасы энергии океана действительно огромны, но его свободная энергия, которую можно превратить не в тепло, а в полезную работу, очень низка из-за высокой энтропии. Поэтому строительство сложных, дорогих и экологически грязных электростанций оказывается в итоге гораздо выгоднее.

9.12. Второе начало термодинамики

Для описания термодинамических процессов первого закона термодинамики недостаточно, так как он не позволяет определить направление этих процессов.

Ответ на вопрос о направлении протекания процессов в системах даёт второй закон термодинамики. Известны различные формулировки этого закона. Например, Клаузиус определил его так:

> *невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача теплоты от менее нагретого тела к более нагретому (1850 г.)*

В связи с этой формулировкой в середине XIX в. возникла проблема так называемой тепловой смерти Вселенной. Рассматривая Вселенную, как замкнутую систему, Клаузиус, опираясь на второе начало термодинамики, утверждал, что рано или поздно энтропия Вселенной должна достигнуть своего максимума. Переход теплоты от более нагретых тел к менее нагретым приведёт к тому, что температура всех тел Вселенной станет одинаковой, наступит полное тепловое равновесие и все процессы во Вселенной прекратятся – наступит тепловая смерть Вселенной.

Ошибочность вывода о тепловой смерти Вселенной заключается в том, что нельзя применять второе начало термодинамики к незамкнутым системам. К числу таких систем и относится нестационарная, бесконечно развивающаяся Вселенная.

Другая формулировка второго начала термодинамики предложена английским физиком Томсоном (Кельвином):

> *невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу.*

Это утверждение связано с необратимостью тепловых процессов: для сжатия газа, которое не может происходить самопроизвольно, требуется внешняя сила и охлаждение газа.

Из формулировки Кельвина следует утверждение о *невозможности построения вечного двигателя второго рода*, то есть двигателя, полностью превращающего теплоту в работу. Согласно Кельвину, из всей теплоты, полученной от источника тепла с высокой температурой – теплоотдатчика, только часть может быть превращена в работу. Остальная часть должна быть отведена в теплоприёмник с относительно низкой температурой, то есть для работы теплового двигателя необходимы, по крайней мере, два тепловых источника различной температуры.

Ещё одна формулировка второго начала термодинамики принадлежит Больцману:

$$\textit{энтропия замкнутой системы не убывает},\ \Delta S \geq 0.$$

Примеры возрастания энтропии хорошо известны: любые виды разрушений, зарастание сельскохозяйственных угодий сорняками, возрастание домашнего хаоса, требующего периодических уборок квартиры, старение и смерть живых организмов.

Таким образом, второй закон термодинамики позволяет предсказать направление термодинамических процессов – от менее вероятных состояний к более вероятным.

Общий смысл приведённых выше формулировок второго начала термодинамики сводится к следующему:

неизбежным результатом любых процессов в замкнутой системе является сглаживание неоднородностей, разрушение упорядоченных структур, понижение сложности устройства системы и качества запасённой в ней энергии.

Другими словами, термодинамика утверждает, что в мировых процессах преобладает тенденция к деградации.

С другой стороны, согласно эволюционному учению Дарвина, с течением времени закономерно возникают всё более сложные и высокоорганизованные системы – живые организмы. Это учение обосновано фактами и логикой и является основой мышления в биологии. Правота и Дарвина и Клаузиуса подтверждается всей совокупностью научных знаний. И вместе с тем эволюционное учение и второй закон термодинамики кажутся противоречащими друг другу, взаимоисключающими. В этом заключается *основной парадокс эволюционной картины мира*.

Однако, на самом деле парадокса, понимаемого как противоречие между законом возрастания энтропии и законом биологической эволюции, не существует.

Дело в том, что второй закон термодинамики установлен для замкнутых систем. Однако ни один живой организм или общество живых организмов принципиально не может рассматриваться как замкнутая система. Между живым организмом и окружающей средой происходит непрерывный обмен веществом и энергией. Поскольку живые организмы – открытые системы, второй закон термодинамики нельзя применять к ним напрямую. Для открытых систем необходимо рассматривать их *энтропийный баланс*, учитывая взаимодействие с окружающей средой.

9.13. Третье начало термодинамики

Третье начало термодинамики (тепловая теорема немецкого физика и химика Вальтера Нернста) представляет собой физический принцип, определяющий поведение энтропии при абсолютном нуле температуры. Оно является одним из постулатов термодинамики и формулируется так:

энтропия системы в состоянии равновесия стремится к нулю по мере приближения к нулю её термодинамической температуры

$$\lim S = 0 .$$

С понижением температуры во всякой системе наблюдается тенденция к упорядоченности. При абсолютном нуле температуры система находится в состоянии с минимальной энергией. Термодинамическая вероятность такого состояния W равна единице, и в соответствии с уравнением (9.9) энтропия равна нулю.

Третье начало термодинамики не вытекает из первых двух начал, оно является новым законом природы и позволяет определять абсолютное значение энтропии, чего нельзя сделать на основе первого и второго начал термодинамики.

Из третьего начала термодинамики следует, что абсолютного нуля температуры нельзя достигнуть ни в каком конечном процессе, связанном с изменением энтропии, к нему можно лишь асимптотически приближаться, поэтому третье начало термодинамики иногда формулируют как *принцип недостижимости абсолютного нуля температуры.*

Вопросы для самопроверки

1. Что изучает термодинамика?
2. Что называется термодинамической системой?
3. Что называют термодинамическими параметрами состояния системы? Приведите примеры термических и калорических параметров.
4. Дайте понятия равновесного и неравновесного состояний системы.
5. Сформулируйте нулевое начало термодинамики.
6. Дайте понятие термодинамического процесса. Какой процесс называется равновесным? Какой процесс называется неравновесным?
7. Что называют внутренней энергией термодинамической системы? Опишите способы изменения внутренней энергии.
8. Приведите формулировку и запишите математическое выражение первого начала термодинамики.
9. Почему невозможен вечный двигатель первого рода?
10. Опишите модель идеального газа.
11. Какой процесс в газе называется изотермическим? Сформулируйте закон Бойля-Мариотта. Запишите математическое выражение первого закона термодинамики к изотермическому процессу.
12. Какой процесс в газе называется изобарным? Сформулируйте закон Гей-Люссака. Запишите математическое выражение первого закона термодинамики к изобарному процессу.
13. Какой процесс в газе называется изохорным? Сформулируйте закон Шарля. Запишите математическое выражение первого закона термодинамики к изохорному процессу.
14. Дайте определение теплоизолированной системы.

15. Опишите адиабатный процесс в газе. Как изменяется температура идеального газа при адиабатном процессе?

16. Объясните понятие кругового процесса в термодинамике.

17. Опишите идеальный цикл Карно.

18. Каким отрицательным последствиям для окружающей среды приводит широкое использование тепловых двигателей в энергетике и транспорте?

19. Каковы пути уменьшения отрицательного влияния тепловых машин на окружающую среду?

20. Объясните понятие энтропии как функции состояния системы.

21. Запишите неравенство Клаузиуса.

22. В чём смысл второго начала термодинамики.

23. Запишите и объясните формулу Больцмана.

24. Сформулируйте третье начало термодинамики.

10. НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА. САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРИРОДЫ

10.1. Неравновесная термодинамика. Явления переноса в неравновесных системах

Неравновесная термодинамика – это теория, изучающая системы, находящиеся вне состояния термодинамического равновесия и необратимые процессы.

Необходимость в её создании возникла в первой половине двадцатого века. Первые работы, посвященные неравновесной термодинамике, были опубликованы в 1931 году норвежско-американским химиком и физиком, лауреатом Нобелевской премии по химии (1968) Ларсом Онзагером (1903-1976). В дальнейшем существенный вклад в развитие неравновесной термодинамики внесли американский физик Карл Эккарт (1902-1973), российский физик-теоретик Дмитрий Николаевич Зубарев (1917-1992), бельгийский физик русского происхождения, Илья Романович Пригожин (1917-2003), удостоенный Нобелевской премии за работы в этой области в 1977 году, профессора Лейденского университета С. Де Гроот и П. Мазур и другие. Следует отметить, что теория неравновесных систем активно развивается и в настоящее время.

Объектом изучения неравновесной термодинамики является открытая неравновесная система.

Открытая система может подвергаться случайному или закономерному внешнему воздействию, которое способно создать в ней «неоднородность» того или иного параметра, характеризующего систему.

Если внешнее воздействие неконтролируемое (случайное), то созданное им в системе возмущение (неравновесность) будет представлять собой флуктуацию.

Флуктуация – это случайное отклонение величин, характеризующих состояние системы, от их средних значений.

Если в системе возникает неодинаковость термодинамических параметров (температуры, давления и др.) в различных её областях, то система *термодинамически неравновесна*. Процесс самопроизвольного возвращения системы в состояние равновесия после снятия возмущающего внешнего воздействия называется релаксацией

В том случае, когда внешнее воздействие не флуктуативное, а может закономерно изменяться, или оставаться постоянным, в системе будет существовать соответственно неоднородное распределение макроскопических параметров. Степень неоднородности пространственного распределения некоторой величины характеризуют *градиентом* этой величины. Например, то, как резко изменяется температура от точки к точке нагретого

тела, можно охарактеризовать градиентом температуры. Чем выше значения градиента в системе, тем более неравновесной является эта система.

Как и при флуктуации, макроскопическая неравновесность в системе, предоставленной самой себе (изолированной), самопроизвольно исчезает. Происходит релаксация, которая проявляется в выравнивании значений макропараметров, в уменьшении и исчезновении градиентов этих параметров. Например, неоднородность (градиент) температуры в изолированном теле исчезает, благодаря переносу тепловой энергии в объёме тела. Такое явление называется *теплопроводностью.*

Явление *внутреннего трения (вязкость)* обусловлено неоднородностью (градиентом) скорости упорядоченного движения слоёв жидкости или газа, который исчезает вследствие переноса импульса молекул из одного слоя в другой.

Аналогично возникает и явление *диффузии* – перенос частиц вещества из области, где их концентрация более высока в ту область, где их концентрация меньше. В результате исчезает концентрационная неоднородность.

Такие процессы называются *явлениями переноса.* В частности, они могут происходить и при наличии градиентов, постоянно поддерживаемых в данной системе внешним воздействием. Механизмы различных явлений переноса аналогичны и обусловлены хаотическим характером движения громадного числа частиц, составляющих рассматриваемые системы, а «движущей силой» процесса переноса всегда является градиент соответствующего параметра. Существуют социальные аналоги физических процессов переноса, вызванные движущимися силами социального характера.

Процессы релаксации и явления переноса представляют собой примеры необратимых процессов, в которых промежуточные состояния не являются равновесными. Систему, в которой произошли необратимые процессы, невозможно вернуть в исходное состояние без того, чтобы не произвести в окружении некоторых изменений. Предположим, что в изолированной системе произошло постепенное исчезновение имевшейся первоначально неоднородности какого-либо макропараметра, например, температуры. Тогда самопроизвольный возврат системы в исходное состояние представляет собой настолько значительную флуктуацию, что её вероятность практически равна нулю. Переход такой системы в первоначальное состояние практически невозможен без воздействия извне, а значит и без следов такого воздействия в окружении.

Необратимые процессы являются теми природными проявлениями, которые позволяют выстроить последовательность моментов времени. Поэтому с необратимыми процессами в природе можно связать характерную для каждого такого процесса направленность времени (так называемую стрелу времени).

10.2. Энтропия открытой системы. Принцип производства минимума энтропии

В замкнутой системе, как и в открытой тоже может сохраняться неравновесная ситуация, однако до тех пор, пока система за счет своих внутренних процессов не достигнет равновесия, при котором её энтропия станет максимальной. В открытой системе, обменивающейся энергией с окружающей средой, за счет прихода энергии извне могут возникать диссипативные структуры (высокоупорядоченные самоорганизующиеся образования) с гораздо меньшей энтропией. Иначе говоря, система, самоорганизуясь в новом стационарном состоянии, уменьшает свою энтропию, она как бы «сбрасывает» её избыток, возрастающий за счет внутренних процессов, в окружающую среду. В живых организмах это происходит за счет дыхания, экскреции (выделения). Открытая система как бы «питается» отрицательной энтропией (негэнтропией), выбрасывая наружу положительную. При этом возникают новые устойчивые неравновесные, но близкие к равновесию состояния. При таком неравновесии рассеивание энергии минимально и интенсивность роста энтропии оказывается меньше, чем в других близких состояниях. В энергетических процессах открытых систем имеет место сформулированный Пригожиным, принцип производства минимума энтропии: *в стационарном неравновесном состоянии производство энтропии минимально*.

Живой организм с точки зрения протекающих в нем физико-химических процессов можно рассматривать как сложную открытую систему, находящуюся в неравновесном, нестационарном состоянии. Для живых организмов характерна сбалансированность процессов обмена, ведущих к уменьшению энтропии. Конечно, с помощью энтропии нельзя охарактеризовать жизнедеятельность в целом, так как жизнь не сводится к простой совокупности физико-химических процессов. Ей свойственны другие сложные процессы саморегуляции.

10.3. Понятие самоорганизации

Самоорганизацией называют природные скачкообразные процессы, переводящие открытую неравновесную систему, достигшую в своем развитии критического состояния, в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности по сравнению с исходным.

Критическое состояние – это состояние крайней неустойчивости, достигаемое открытой неравновесной системой в ходе предшествующего периода плавного, эволюционного развития.

Идеи самоорганизации имели место ещё в классической науке XVIII–XIX вв. Это космогоническая гипотеза Канта – Лапласа, теория эволюции

Чарльза Дарвина, теория поведения термодинамических систем Максвелла-Больцмана. Однако лишь 70-е гг. XX в., когда были накоплены большой теоретический материал и практический опыт, появилась возможность детального исследования открытых, неравновесных систем, анализа и описания механизмов и закономерностей их развития. Разработка теории самоорганизации осуществлялась по нескольким, сходящимся направлениям. Это синергетика (Г. Хакен), термодинамика неравновесных процессов (И. Пригожин), теория катастроф (Р. Том). Большую роль в становлении теории самоорганизации сыграли работы наших соотечественников: В. Вернадского, Б. Белоусова, В. Жаботинского, А. Руденко, Ю. Климантовича, А. Колмогорова. Современное естествознание идет по пути теоретического моделирования сложнейших природных систем, способных к саморазвитию и самоорганизации.

10.4. Основы синергетики

Термин «синергетика» (от греч. *synergeia* – сотрудничество, содружество) в научный обиход ввел немецкий физик, профессор Штутгартского университета Герман Хакен.

Синергетика – наука о самоорганизации простых систем, о превращении хаоса в порядок.

Она занимается изучением систем, состоящих из многих подсистем самой различной природы, таких как электроны, атомы, молекулы, клетки, механические элементы, фотоны, органы животных и даже люди.

Основными свойствами таких систем (не зависимо от их природы) являются:

1) *открытость* – обязательный обмен энергией и (или) веществом с окружающей средой;

2) *нелинейность* – способность качественно изменять своё поведение при количественном изменении воздействия;

3) *существенная неравновесность* – достигается при определенных состояниях и при определенных значениях параметров, характеризующих систему, которые переводят ее в критическое состояние, сопровождаемое потерей устойчивости;

3) *выход из критического состояния скачком,* в процессе типа фазового перехода, в качественно новое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности.

Скачок – это крайне нелинейный процесс, при котором малые изменения параметров системы (обычно они называются управляющими параметрами) вызывают очень сильные изменения состояния системы, её переход в новое качество. При этом старые структуры разрушаются, переходя к качественно новым структурам. Например, при снижении температуры во-

ды до определенного значения она скачком 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.

В нелинейных системах развитие идет по нелинейным законам, приводящим к многовариантности путей выбора и альтернатив выхода из состояния неустойчивости.

Самоупорядочивание системы всегда связано со снижением энтропии в ней. Примером самоорганизующейся системы является лазер. Этот прибор создает высокоорганизованное оптическое излучение. Традиционные источники света – лампы накаливания, газоразрядные лампы – создают оптические излучения за счет процессов, подчиняющихся статистическим законам. Так, в нагретой до высокой температуры среде возбужденные атомы и ионы спонтанно излучают кванты света с различными длинами волн во всех направлениях. Только малую часть из них мы воспринимаем как видимый свет. Уровень организации подобной среды крайне низок, упорядоченность мала. Для лазерной активной среды, которая должна в принципе находиться в сильно неравновесном состоянии, характерна высокая упорядоченность атомных, ионных или молекулярных избирательно возбуждаемых состояний, что достигается направленным введением в среду организованного потока энергии (накачка). При выполнении определенного условия в среде лавинообразно нарастает вынужденное излучение почти монохроматических квантов света, распространяющихся в одном направлении. Лазерная генерация возникает скачком после того, как плотность вводимой в среду энергии накачки превысит пороговое значение, зависящее от свойств активной среды, характера накачки и параметров оптического резонатора, в который помещают активную среду для усиления эффекта. Излучение выходит в виде узконаправленного луча.

Подобные процессы имеют место в химии, например, смешивание жидкостей разных цветов, когда попеременно получается жидкость то красного, то синего цвета; в биологии – мышечные сокращения, электрические колебания в коре головного мозга, явление морфогенеза (отдельные клетки бывают только недифференцированными, специализация развивается в соответствующем окружении других клеток), динамика популяций (временные колебания численности видов) и т.д.

Самоорганизующиеся системы обретают присущие им структуры или функции без какого бы то ни было вмешательства извне. Обычно они состоят из большого числа подсистем. При изменении определенных условий, которые называются управляющими параметрами, в них образуются качественно новые структуры. Такие системы обладают способностью переходить из однородного, недифференцированного состояния покоя в не-

однородное, но хорошо упорядоченное состояние или в одно из нескольких возможных состояний.

Этими системами можно управлять, изменяя действующие на них внешние факторы. Поток энергии или вещества уводит физическую, химическую, биологическую или социальную систему далеко от состояния термодинамического равновесия. Изменяя температуру, уровень радиации, давление и т.д., можно управлять системами извне.

Самоорганизующиеся системы способны сохранять внутреннюю устойчивость при воздействии внешней среды, они находят способы самосохранения, чтобы не разрушаться и даже улучшать свою структуру. Как замечает сам Хакен, это приводит нас в определенном смысле к своего рода обобщенному дарвинизму, действие которого распространяется не только на органический, но и на неорганический мир.

10.5. Неравновесная термодинамика И. Пригожина

Эта концепция имеет несколько иной аспект. Её задачей является доказательство того факта, что неравновесие может быть причиной порядка.

До недавнего времени физическая наука вполне обходилась равновесной термодинамикой, предметом которой являются процессы преобразования энергии, протекающие в замкнутых системах, состояние которых близко к термодинамическому равновесию. Но в подобных системах невозможны процессы для самоорганизации.

Чтобы система могла не только поддерживать, но и создавать упорядоченность из хаоса, она непременно должна быть открытой и иметь приток энергии и вещества извне. Такие системы Пригожин назвал диссипативными. Весь доступный нашему познанию мир состоит именно из таких систем, и в этом мире повсюду обнаруживается эволюция, разнообразие форм и неустойчивость.

В ходе эволюционного этапа развития диссипативная система достигает в силу самого характера развития состояния сильной неравновесности и теряет устойчивость. Это происходит при критических значениях управляющих параметров, и дальнейшая зависимость происходящих процессов от действующих сил приобретает крайне нелинейный характер. Разрешением возникшей кризисной ситуации служит быстрый переход диссипативной системы в одно из возможных устойчивых состояний, качественно отличающихся от исходного. Пригожин трактует такой переход как приспособление диссипативной системы к внешним условиям, чем обеспечивается ее выживание. Это и есть акт самоорганизации системы.

Самоорганизация проявляется в форме гигантской коллективной флуктуации, которая не имеет ничего общего со статистическими законами фи-

зики. В состоянии перехода элементы системы ведут себя коррелированно, хотя до этого они пребывали в хаотическом движении.

В качестве примера можно рассмотреть этап перехода от однородной Вселенной к структурной. В начале этого перехода Вселенная представляла собой смесь трех почти не взаимодействовавших между собой субстанций: лептонов, фотонов и барионного вещества. Температура (3000 К) и плотность вещества к этому времени уже были достаточно низкими, и в этих условиях ни одно из четырех фундаментальных взаимодействий не могло обеспечить процессы нарастания сложности и упорядоченности вещества. Перспективой было образование «лептонной пустыни», аналога «тепловой смерти». Но этого не случилось, произошел скачок системы в качественно новое состояние: во Вселенной возникли разномасштабные структуры, находящиеся в сугубо неравновесных состояниях. Для объяснения этого процесса и привлекаются идеи самоорганизации материи. С формальной точки зрения Вселенную можно считать диссипативной системой, так как она открыта (если считать окружающей средой Вселенной вакуум); неравновесна (в ней нарушен равновесный состав вещества и антивещества, она состоит из трех почти не взаимодействующих между собой частей, каждая из которых имеет свою температуру); температура и плотность вещества на данном этапе являются критическими, так как ни одно из физических взаимодействий не обеспечивает дальнейшего развития Вселенной. Все это и привело к скачку, образованию структурной Вселенной.

Переход диссипативной системы из критического состояния в устойчивое неоднозначен. Сложные неравновесные системы имеют возможность перейти из неустойчивого в одно из нескольких дискретных устойчивых состояний. В какое именно из них совершится переход – дело случая. В системе, пребывающей в критическом состоянии, развиваются сильные флуктуации, под действием одной из них 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 одноразовый и необратимый характер. Критическое значение параметров системы, при которых возможен неоднозначный переход в новое состояние, называют *точкой бифуркации*.

Находясь между двумя точками бифуркации, система развивается закономерно, тогда, как вблизи точек бифуркации существенную роль играют флуктуации, которые и определяют, какой из путей дальнейшего развития будет избран.

Таким образом, самоорганизация заставляет по-новому взглянуть на соотношение случайного и закономерного в развитии систем, а также в природе в целом. В развитии выделяются две фазы: плавная эволюция, ход

которой достаточно закономерен и жестко детерминирован, и скачки в точках бифуркации, протекающие случайным образом и поэтому случайно определяющие последующий закономерный эволюционный этап вплоть до следующего скачка в новой критической точке.

В том, что точки бифуркации – это не абстракция, имеет возможность убедиться каждый человек. У любого человека возникали ситуации, когда он стоял перед выбором своего дальнейшего жизненного пути, и случайное стечение обстоятельств определяло этот путь.

Одним из простейших случаев спонтанной самоорганизации является так называемая неустойчивость Бенара: если мы будем постепенно нагревать снизу не слишком толстый слой вязкой жидкости, то до определенного момента отвод тепла от нижнего слоя жидкости к верхнему обеспечивается одной лишь теплопроводностью, без конвекции. Однако когда разница температур нижнего и верхнего слоев достигает некоторого порогового значения, система выходит из равновесия и происходит поразительная вещь. В жидкости возникает конвекция, при которой коллективы из миллионов молекул внезапно, как по команде, приходят в согласованное движение, образуя конвективные ячейки в форме правильных шестиугольников. Это означает, что большинство молекул начинают двигаться с почти одинаковыми скоростями, что противоречит и положениям молекулярно-кинетической теории, и принципу порядка Больцмана из классической термодинамики. Если в классической термодинамике тепловой поток считается источником потерь (диссипации), то в ячейках Бенара он становится источником порядка. Пригожин характеризует возникшую в этом случае ситуацию как гигантскую флуктуацию, стабилизируемую путем обмена энергией с внешним миром.

10.6. Теория катастроф Р. Тома

Проблемами самоорганизации также занимается теория катастроф (математическая теория, анализирующая поведение нелинейных динамических систем при изменении их параметров).

Катастрофами называют скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий.

Основой теории катастроф является новая область математики – теория особенностей гладких отображений, являющаяся далеким обобщением задач на экстремум в математическом анализе. Начало этой теории было положено в 1955 г. американским математиком Г.Уитни. После работ Р.Тома (давшего теории название) началось интенсивное развитие, как самой теории катастроф, так и ее многочисленных приложений. Значение элементарной теории катастроф состоит в том, что она сводит огромное многообразие ситуаций к небольшому числу стандартных схем, которые можно де-

тально исследовать раз и навсегда. Эта теория дает универсальный метод исследования всех скачкообразных переходов, разрывов, внезапных качественных изменений.

Сейчас теория катастроф широко применяется в механике конструкций, метеорологии, аэродинамике, оптике, теории кооперативных явлений, квантовой динамике. Но главное заключается в том, что эта теория подводит эффективную стандартную базу под описание качественных изменений в нелинейных уравнениях, моделирующих системы, далекие от равновесия. Она является основой анализа в теории бифуркаций, в теории переходов термодинамических систем в новые структурные состояния.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните суть понятия «неравновесная термодинамика».
2. Дайте определение термодинамически неравновесной системы.
3. В чём отличие равновесной и неравновесной системы?
4. Что такое релаксация неравновесной системы?
5. Поясните понятие градиента и понятие явления переноса.
6. С какими процессами связана направленность времени?
7. сформулируйте принцип производства минимума энтропии.
8. Что называется самоорганизацией?
9. Каким требованиям должна удовлетворять самоорганизующаяся система?
10. Что такое синергетика?
11. Какова роль неравновесной термодинамики в познании законов самоорганизации?
12. Какие структуры называют диссипативными?
13. Что такое бифуркация?
14. В чём суть теории катастроф?
15. Приведите примеры процессов самоорганизации в природе.

11. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ О ВЕЩЕСТВЕ

11.1. Химия как наука. Развитие представлений о составе, свойствах и превращениях веществ

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

Процесс формирования химического знания о веществе можно условно представить в виде концептуальных уровней.

11.1.1. Химический элемент

Первый концептуальный уровень – учение о составе вещества (1660-е годы).

На этом этапе учёные исследовали *зависимость свойств веществ от их химического состава*.

Химический состав вещества определяется входящими в него *химическими элементами*.

В 1661 году английский химик и физик Роберт Бойль (1627-1691) предложил первое научное определение химического элемента.

Химический элемент (по Бойлю) – это простое тело, предел химического разложения вещества. Химический элемент переходит без изменения из состава одного сложного тела в состав другого.

Основываясь на результатах своих экспериментов, Роберт Бойль сделал важный вывод:

> *качества и свойства вещества зависят от того, из каких химических элементов оно состоит.*

Учёные в это время ещё не знали ни одного химического элемента. Фосфор (P) был открыт только в 1669 году, кобальт (CO) – в 1735, никель (Ni) – в 1751, водород (H_2) – в 1766 и т.д.

В первой половине 18 века учение о химических элементах основывалось на теории *флогистона*, предложенной немецким врачом и химиком Георгом Шталем (1660-1734).

Шталь объяснял горючесть тел наличием в них невесомой горючей материи – *флогистона* и рассматривал процесс горения как процесс разложения.

Теория флогистона объясняла причины изменения внешнего вида и свойства тел, но не могла объяснить изменение их тел после горения.

В 1748 году Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765) впервые сформулировал *закон сохранения массы вещества* и исключил из числа химических элементов флогистон.

Закон сохранения массы вещества:

масса веществ, вступающих в химическую реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате реакции.

Процесс превращения химии в науку завершил своими открытиями французский химик Антуан Лавуазье (1743-1791). Он понял важность точного измерения количеств веществ, участвующих в химических процессах, и опроверг теорию флогистона, предложив кислородную теорию горения. В 1789 году Лавуазье экспериментально подтвердил закон сохранения массы вещества и доказал, что *в химических реакциях сохраняется не только общая масса веществ, но и масса каждого из элементов. входящих в состав взаимодействующих веществ.*

Лавуазье первым предпринял попытку систематизации открытых к тому времени 33 химических элементов.

В период с середины XVII до второй половины XIX века *учение о составе вещества* представляло собой всю химию. Оно существует и сегодня, представляя собой часть химии.

В современной научной картине мира под *химическим элементом* понимают совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра (изотопов).

11.1.2. Химическое соединение. Химическая связь

Второй концептуальный уровень – *структурная химия* (1800-е годы). Структурная химия занимается исследованием структуры, то есть способа взаимодействия элементов вещества. К этому времени был открыт органический синтез (на основе простейших углеводородов были синтезированы анилиновые красители, затем получены новые вещества – лекарственные препараты, взрывчатые вещества) и химики считали, что из нескольких простейших элементов они могут складывать все остальные. Стало очевидно, что свойства веществ, их качественное разнообразие обуславливаются не только составом, но и структурой молекул. Совершенствование методов и средств измерения позволило установить целый ряд новых количественных закономерностей – стехиометрических законов.

В 1803 году английский физик и химик Джон Дальтон открыл закон кратных отношений:

если два химических элемента образуют друг с другом более одного соединения, то массы одного элемента, приходящиеся на одну и ту же массу другого, относятся как целые числа, обычно небольшие.

В 1811 году итальянский физик и химик Амедео Авогадро ввёл термин «молекула» и выдвинул гипотезу молекулярного строения веществ. Согласно Авогадро, *молекула – это наименьшая частица вещества, состоя-*

щая из одинаковых или различных атомов, соединённых между собой химическими связями.

Химическая связь атомов обусловлена взаимодействием внешних (валентных) электронов. Силы, удерживающие атомы в молекулах, являются проявлением электромагнитного взаимодействия.

Основными видами химической связи атомов в молекулах являются:

1) *ионная связь* – она осуществляется электростатическим взаимодействием атомов при переходе электрона одного атома к другому, в результате чего образуются положительный и отрицательный ионы. Ионная связь между атомами существует, например, в молекулах $NaCl$, KBr.

2) ковалентная – это связь атомов посредством общих электронных пар. В результате образования общих электронных пар происходит перекрывание орбиталей.

В этом случае выделить положительные и отрицательные ионы невозможно. Пару образуют электроны с противоположно направленными спинами. Ковалентная связь между атомами существует, например, в молекулах H_2, C_2.

Представления об атомно-молекулярном строении вещества окончательно утвердились в 60-х годах XIX века.

В 1861 году выдающийся российский химик А.М. Бутлеров (1828-1896) создал и обосновал теорию химического строения вещества, согласно которой свойства веществ определяются порядком связей атомов в молекулах и их взаимном влиянием. Он отмечал, что образование новых молекул из атомов происходит *не только за счет валентности, но и энергии (напряжения), с которой они связываются друг с другом.* Именно поэтому новые идеи А.М. Бутлерова нашли не только широкое применение в практике химического синтеза, но и получили свое обоснование в квантовой механике.

Немного позднее – в 1869 году – другой выдающийся русский химик – Д.И.Менделеев (1834-1907) открыл *периодический закон химических элементов* – один из фундаментальных законов естествознания. Современная формулировка этого закона такова: *свойства элементов находятся в периодической зависимости от заряда их атомных ядер*. Заряд ядра равен порядковому номеру элемента в Периодической системе Менделеева.

Менделееву Д.И. в момент создания периодической системы было известно 62 химических элемента, однако он предсказал существование неизвестных элементов, оставив для них пустые клетки в своей таблице. Впоследствии эти элементы были открыты химиками, и свойства их оказались такими, какие предсказывал Д.И. Менделеев. Благодаря этому его периодическая система получила широкое признание в научном мире. В настоящее время число известных химических элементов составляет 118.

В 1801 году французский ученый Жозеф Пруст (1754-1826) сформулировал в закон постоянства состава вещества**:** *любое химическое соединение должно обладать вполне определенным, неизменным составом.*

Впоследствии этот закон был обоснован выдающимся английским ученым химиком Джоном Дальтоном (1766-1844) с позиций атомарно-молекулярного учения. Дальтон полагал, что *поскольку всякое индивидуальное вещество – простое или сложное – состоит из молекул, а молекулы – из атомов, то свойства вещества зависят от молекул*.

Например: молекула кислорода O_2 образована из двух атомов и характеризуется всеми свойствами, которые присущи этому веществу.

Молекулы сложных веществ, или химических соединений, образованы из разных атомов и поэтому обладают свойствами, отличными от свойств составных частей.

Например: вода H_2O представляет собой жидкость, а образована она из двух газов – водорода и кислорода.

Важно подчеркнуть, что каким бы способом она или другое химическое соединение ни были получены, они всегда будут иметь тот же самый состав. Долгое время закон постоянства состава считался абсолютной истиной, не допускающей никаких исключений, хотя уже французский химик Клод Бертолле указывал на существование соединений переменного состава в форме растворов и сплавов. В последствии были найдены более убедительные доказательства существования химических соединений переменного состава в школе известного русского химика Н.С. Курнакова (1860-1940). В честь К. Бертолле он назвал их *бертоллидами.* Например, к ним относятся соединения таких двух металлов, как марганец и медь, магний и серебро и др. Состав *бертоллидов* зависит от способа их получения.

Анализ химических соединений показал, что природа соединения, т.е. характер связи атомов в его молекуле, зависит от их химических связей*, определяемых обменным взаимодействием валентных электронов.*

В связи с этим изменилось и само классическое понятие молекулы, хотя основное его содержание сохранилось: *молекулой по-прежнему называют наименьшую частицу вещества, которая определяет его свойства и может существовать самостоятельно.*

Однако к молекулам теперь относят также разнообразные другие квантово-механические системы (ионные, атомные монокристаллы, полимеры и другие макромолекулы).

С возникновением структурной химии у химической науки появились неизвестные ранее возможности целенаправленного качественного влияния на преобразование вещества. Структурная химия неорганических соединений ищет пути получения кристаллов для производства высокопрочных материалов с заданными свойствами, обладающих термостойкостью, сопротивлением агрессивной среде и другими качествами, предъявляемы-

ми сегодняшним уровнем развития науки и техники. Решение этих вопросов наталкивается на различные препятствия. Выращивание, например, некоторых кристаллов требует исключения условий гравитации. Поэтому такие кристаллы выращивают в космосе, на орбитальных станциях.

11.1.3. Химическая реакция, её скорость, кинетика и катализ

Третий концептуальный уровень – учение о химических процессах (1950-е годы).

Интенсивное развитие автомобилестроения, авиации, энергетики, приборостроения в первой половине XX века выдвинуло новые требования к производству материалов. Необходимо было получать высокооктановое моторное топливо, специальные синтетические каучуки, пластмассы, высокостойкие изоляторы, жаропрочные органические и неорганические полимеры, полупроводники. Для получения этих материалов способ решения основной проблемы химии, основанный на учении о составе и структурных теориях, был явно недостаточен. Он не учитывал резкие изменения свойств вещества в результате влияния температуры, давления, растворителей и многих других факторов, воздействующих на направление и скорость химических процессов.

Под влиянием новых требований производства возник *третий* способ решения проблемы генезиса свойств, учитывающий всю сложность организации *химических процессов* в реакторах и обеспечивающий их экономически приемлемую производительность.

Учение о механизмах химических реакций и закономерностях их осуществления во времени называется *физической химией* или *химической кинетикой*.

К структурно-кинетическим факторам, влияющим на скорость химической реакции относятся:

1. *Строение исходных реагентов* (природа реагирующих веществ). Большую роль играет характер химических связей и строение молекул реагентов. Реакции протекают в направлении разрушения менее прочных связей и образования веществ с более прочными связями. Так, для разрыва связей в молекулах H_2 и N_2 требуются высокие энергии; такие молекулы мало реакционноспособны. Для разрыва связей в сильнополярных молекулах (HCl, H_2O) требуется меньше энергии, и скорость реакции значительно выше. Реакции между ионами в растворах электролитов протекают практически мгновенно. Например, фтор с водородом реагирует со взрывом при комнатной температуре, бром с водородом взаимодействует медленно и при нагревании. Оксид кальция вступает в реакцию с водой энергично, с выделением тепла; оксид меди – не реагирует.

2. *Концентрация реагирующих веществ*. Чтобы между частицами (молекулами, ионами) исходных веществ произошло химическое взаимодействие, они должны сблизиться друг с другом настолько, чтобы атомы одного из них испытывали бы действие электрических полей, создаваемых атомами другого. Только при этом условии станут возможны те переходы электронов и перегруппировки атомов, в результате которых образуются молекулы новых веществ – продуктов реакции. Поэтому скорость реакции пропорциональна числу соударений, которые претерпевают молекулы реагирующих веществ. Число соударений, в свою очередь, тем больше, чем выше концентрация каждого из исходных веществ.

Закон зависимости скорости реакции от концентраций реагирующих веществ (закон действующих масс):

при постоянной температуре скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ:

$$\upsilon = k[A]\cdot[B],$$

где k – коэффициент пропорциональности, называемый *константой скорости данной реакции*; $[A]$ и $[B]$ – концентрации веществ A и B.

Величина константы скорости зависит от природы реагирующих веществ, температуры и от присутствия катализаторов, но не зависит от концентраций веществ.

Этот закон был открыт в 1867 г опытным путем норвежскими учеными К. Гульдбергом и П. Вааге.

3. *Температура.* Химические реакции, протекающие в гомогенных системах (смеси газов, жидкие растворы), осуществляется за счет соударения частиц. Однако не всякое столкновение частиц реагентов ведет к образованию продуктов реакции. Только частицы, обладающие повышенной энергией – *активные частицы,* способны осуществить акт химической реакции. Избыточная энергия, которой должны обладать частицы для того, чтобы их столкновения могли привести к образованию нового вещества, называется *энергией активации*. Энергию активации выражают в кДж/моль.

С повышением температуры увеличивается кинетическая энергия частиц и число активных частиц возрастает. Химические реакции при высоких температурах протекают быстрее, чем при низких температурах. Эмпирическое правило, позволяющее в первом приближении оценить влияние температуры на скорость химической реакции в небольшом температурном интервале (обычно от 0°С до 100°С) называется правилом Вант-Гоффа:

при повышении температуры на каждые 10°С скорость химической реакции возрастает в два – четыре раза.

При увеличении температуры от t_1 до t_2 изменение скорости реакции можно рассчитать по формуле

$$\frac{\upsilon_{t_1}}{\upsilon_{t_2}} = g^{t_2 - t_1 / 10},$$

где υ_{t_1} и υ_{t_2} – скорости реакции при температурах t_1 и t_2 соответственно; g – температурный коэффициент данной реакции (если он равен 2, например, то скорость реакции будет увеличиваться в 2 раза при повышении температуры на 10 градусов).

4. *Поверхность соприкосновения реагирующих веществ*. Для гетерогенных систем (когда вещества находятся в разных агрегатных состояниях), чем больше поверхность соприкосновения, тем быстрее протекает реакция. Поверхность твердых веществ может быть увеличена путем их измельчения, а для растворимых веществ – путем их растворения.

5. *Катализ*. Катализ – ускорение химической реакции в присутствии веществ (катализаторов), которые взаимодействуют с реагентами, но в реакции не расходуются и не входят в состав конечных продуктов. Термин «катализ» впервые предложил шведский химик и минералог И.Я. Берцелиус (1799-1848 гг.). Благодаря катализу скорость некоторых реакций повышается в десятки миллиардов раз даже при невысоких температурах и активизируется образование только определённых продуктов из ряда возможных.

Катализ – основа химико-технологических процессов, например, производства серной кислоты, некоторых полимеров, аммиака. В последние десятилетия не менее 20 % всей промышленной химической продукции производят каталитическим способом.

К довольно эффективным катализаторам относятся ионообменные смолы, металлоорганические соединения, мембранные катализаторы, а также многие элементы Периодической системы Менделеева (в первую очередь редкоземельные металлы и металлы платиновой группы). Одним из видов каталитических реакций является *автокатализ.* В автокаталитической реакции, продукт реакции одновременно является её катализатором: каждая новая молекула продукта ускоряет синтез таких же молекул.

Вещества, замедляющие химическую реакцию, называются *ингибиторами*.

Став наукой не только и не столько о веществах как законченных предметах, но наукой о процессах и механизмах изменения вещества, химия обеспечила многотоннажное производство синтетических материалов, заменяющих дерево и металл в строительных работах, пищевое сырье в производстве олифы, лаков, моющих средств и смазочных материалов. Производство искусственных волокон, каучуков, этилового спирта и многих растворителей стало базироваться на нефтяном сырье, а производство

азотных удобрений – на основе азота воздуха. Появилась технология нефтехимических производств с ее поточными системами, обеспечивающими непрерывные высокопроизводительные процессы.

11.2. Химическое равновесие. Принцип Ле Шателье

Все химические реакции можно разбить на две группы: необратимые и обратимые реакции.

Необратимые реакции протекают до конца – до полного израсходования одного из реагирующих веществ. Например, взаимодействие алюминия с соляной кислотой ($Al + 2HCl = AlCl_2 + H_2$) идет необратимо. Обратный процесс взаимодействия хлорида алюминия и водорода с получением алюминия и соляной кислоты невозможен.

Обратимые реакции протекают не до конца: при обратимой реакции ни одно из реагирующих веществ не расходуется полностью.

Это различие связано с тем, что необратимая реакция может протекать только в одном направлении. Обратимая реакция может протекать как в прямом, так и в обратном направлении. В уравнениях обратимых реакций вместо знака равенства ставят стрелки, символизирующие протекание реакций, как в прямом, так и в обратном направлениях. Например, $H_2 + I_2 \leftrightarrow 2HI$.

Согласно закону действующих масс скорость прямой реакции выражается уравнением: $\upsilon_1 = k_1[H_2]\cdot[I_2]$, а скорость обратной реакции уравнением – $\upsilon_2 = k_2[HI]^2$.

В начальный момент времени скорость синтеза HI максимальна, поскольку максимальна концентрация H_2 и I_2, а скорость разложения HI равна нулю, так как в системе отсутствует HI. По мере расходования водорода и йода скорость прямой реакции постепенно уменьшается, а скорость обратной, напротив, возрастает в соответствии с накоплением в реакционном объеме HI. Рано или поздно наступит такой момент, когда эти скорости станут одинаковыми: $\upsilon_1 = \upsilon_2$.

Состояние системы состояние, когда скорости прямой и обратной реакций становятся одинаковыми, называется *химическим равновесием.*

Но состояние химического равновесия не означает прекращения химических реакций. В состоянии химического равновесия взаимодействие исходных веществ и разложение продуктов реакции продолжаются с одинаковыми скоростями. Поэтому такое равновесие называется *динамическим.*

Например, в приведенной реакции HI постоянно образуется и расходуется. Если добавить в такую равновесную смесь радиоактивный йод-131, то он быстро распределяется между молекулами I_2 и HI. Это говорит о по-

стоянном переходе атомов йода из исходного вещества в продукт реакции и обратно.

Состояние химического равновесия можно изменить. Иными словами – можно ли сдвинуть равновесие в сторону образования продуктов или в сторону образования исходных веществ. Например, если добавлять в равновесную систему извне «лишний» водород, то возрастет величина молярной концентрации $[H_2]$ в кинетическом уравнении прямой реакции. Следовательно, увеличится скорость прямой реакции $\upsilon_{пр}$, а скорость обратной реакции $\upsilon_{обр}$ останется неизменной. В итоге израсходуется какая-то часть добавленного водорода, а равновесие сместится *вправо*, т.е. в сторону образования продукта реакции. Такой же эффект даст и введение в систему дополнительных порций I_2.

Напротив, добавление HI приведет к сдвигу равновесия *влево*. Это подтверждает кинетическое уравнение обратной реакции ($\upsilon_{обр}$): она получит преимущество, поскольку возрастет величина $[HI]^2$.

Таким образом, при попытке воздействовать на равновесную систему она «сопротивляется» такому воздействию. Действительно, добавление в равновесную систему H_2 или I_2 приводит к увеличению их расходования в прямой реакции. В итоге H_2 или I_2 в системе окажется меньше, чем было добавлено, зато возрастет количество HI. Наоборот, добавление HI приводит к более быстрому его расходованию в обратной реакции. Такая способность равновесных систем «сопротивляться» внешним воздействиям носит общий характер и известна под названием принципа Ле Шателье:

> *если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-нибудь из условий, определяющих положение равновесия, то равновесие смещается в том направлении, при котором эффект произведенного воздействия уменьшается.*

Повышение температуры смещает химическое равновесие в сторону эндотермической реакции, понижение температуры – в сторону экзотермической реакции.

При повышении концентрации одного из исходных веществ равновесие сдвигается в направлении образования продуктов реакции. При повышении концентрации одного из продуктов реакции равновесие сдвигается в направлении образования исходных веществ.

Во всех реакциях с участием газообразных веществ, сопровождающихся изменением объема за счет изменения количества вещества при переходе от исходных веществ к продуктам реакции, на положение равновесия влияет давление в системе. Влияние давления на положение равновесия подчиняется следующим правилам: при повышении давления равновесие сдвигается в направлении образования веществ (исходных или продуктов)

с меньшим объемом; при понижении давления равновесие сдвигается в направлении образования веществ с большим объемом. Катализаторы не влияют на положение равновесия.

11.3. Энергетика химических систем. Тепловые эффекты реакций

При протекании химической реакции изменяется внутренняя энергия участвующих в ней веществ, что сопровождающаяся *выделением и поглощением* теплоты и производством как механической (связанной с изменением объема), так и немеханической работы (связанной с изменением масс веществ, участвующих в процессе).

Участвующая в реакции теплота называется теплотой химической реакции. Эта теплота считается *положительной* при выделении из системы (*экзотермическая реакция*) и *отрицательной* при поглощении системой (*эндотермическая реакция*).

Насыщаемость молекул, т.е. способность присоединять атомы, определяет их постоянный состав для данного вещества и связана с *валентностью* – свойством атомов (или группы атомов) соединяться с некоторым числом других атомов.

11.4. Эволюционная химия – отбор химических элементов во Вселенной

Четвертый концептуальный уровень – *эволюционная химия* (1960-1970 гг.).

Эволюционная химия – наука, которая исследует проблемы самопроизвольного синтеза новых химических соединений (без участия человека). Такие соединения являются более сложными и высокоорганизованными продуктами по сравнению с исходными веществами. В основе эволюционной химии лежат процессы биокатализа, ферментологии. *Ферменты* – это белковые молекулы, синтезируемые живыми клетками. В каждой клетке имеются сотни различных ферментов. С их помощью осуществляются многочисленные химические реакции, которые благодаря каталитическому действию ферментов могут идти с большой скоростью при температурах, подходящих для данного организма, т.е. в пределах примерно от 5 до 40 градусов. Ферменты – это биологические катализаторы.

Эволюционная химия ориентирована главным образом на исследование молекулярного уровня живого. Такие исследования позволили раскрыть механизм многих процессов в живых организмах, синтезировать не существующие в природе вещества с необычными свойствами, установить сложную структуру молекулы ДНК, расшифровать молекулярный генный механизм наследственности и многое другое.

Молекулярный уровень исследования позволяет создавать не только сверхпрочные сверхпроводящие и другие материалы с новыми свойствами, но и производить операции с фрагментами ДНК, изменяя её генетический код. Сегодня уже говорят о конструировании устройств из отдельных молекул, создании молекулярного компьютера, обладающего чрезвычайно большими возможностями.

В эволюционной химии существенное место отводится проблеме «самоорганизации» систем. Теория самоорганизации «отражает законы такого существования динамических систем, которое сопровождается их восхождением на все более высокие уровни сложности в системной упорядоченности, или материальной организации».

Наука же считает, что только шесть элементов – углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера составляют основу живых систем, из-за чего они получили название органогенов. Весовая доля этих элементов в живом организме составляет 97,4 %.

Кроме того, в состав биологически важных компонентов живых систем входят еще 12 элементов: натрий, калий, кальций, магний, железо, цинк, кремний, алюминий, хлор, медь, кобальт, бор. Их удельный вес – 1,6 %.

Остальные – около 1 % составляют 20 химических элементов, из которых построены узкоспецифические биосистемы.

Особая роль отведена природой углероду (органоген №1). Этот элемент способен организовать связи с элементами, противостоящими друг другу, и удерживать их внутри себя. Атомы углерода образуют почти все типы химических связей. На основе шести органогенов и еще около 20 других элементов природа создала около 8 млн различных химических соединений, обнаруженных к настоящему времени. 96 % из них приходится на органические соединения.

Концепции эволюционной химии, в том числе о химической эволюции на Земле, о самоорганизации и самосовершенствовании химических процессов, о переходе от химической эволюции к биогенезу, являются убедительным аргументом, подтверждающим научное понимание происхождения жизни во Вселенной.

Химическая эволюция на Земле создала все предпосылки для появления живого из неживой природы. Жизнь во всем ее многообразии возникла на Земле самопроизвольно из неживой материи, она сохранилась и функционирует уже миллиарды лет.

12. МЕГАМИР И ЕГО СВОЙСТВА

12.1. Общие представления о Вселенной

12.1.1. Общая характеристика Вселенной

Вселенная – самая крупная материальная система. Она представляет собой упорядоченную систему галактик, межгалактического вещества и излучения.

Для гигантских масштабов Вселенной применяют специальные единицы измерений:

1. *Астрономическая единица* – радиус орбиты Земли ($1\,\text{а.е.} = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ м).

2. *Световой год* – расстояние, которое проходит свет за один год ($1\,\text{св.г.} = 63240\,\text{а.е.} = 9{,}46 \cdot 10^{15}$ м).

3. *Парсек* – расстояние, с которого радиус земной орбиты (перпендикулярный лучу зрения) виден под углом в одну угловую секунду ($1\,\text{пк} = 206265\,\text{а.е.} = 3{,}26\,\text{св.г.} = 3{,}08 \cdot 10^{16}$ м).

Число галактик в наблюдаемой части Вселенной -10^{11}. Средняя плотность вещества Вселенной -10^{-29} кг/м^3. Вселенная имеет ячеистую структуру.

12.1.2. Космологические теории эволюции Вселенной

1. *Теория стационарного состояния Вселенной*.

Согласно первой модели Вселенной, предложенной в 1917 году А.Эйнштейном, Вселенная не претерпевает эволюции. В ней могут изменяться отдельные объекты, но в целом Вселенная неизменна, безгранична и имеет форму сферы с равномерно распределенными в ней галактиками. Эта модель, базирующаяся на теории относительности, характеризовала стационарное состояние Вселенной и, как показали астрофизические наблюдения, оказалась неверной.

2. *Теория нестационарного состояния Вселенной*.

Её предложил в 1922 году профессор Петроградского университета А.А.Фридман. В результате анализа космологических уравнений Эйнштейна он пришёл к выводу о том, что Вселенная не может находиться в стационарном состоянии – она должна расширяться либо сужаться. Это определяется величиной средней плотности материи во Вселенной относительно ее критического значения $\rho_{кр} \approx 10^{-26}$ кг/м^3. Если средняя плотность материи во Вселенной $\rho < \rho_{кр}$, то Вселенная бесконечна, незамкнута и расширяется. При $\rho > \rho_{кр}$ галактики будут сбегаться, что соответствует сжимающейся (закрытой) Вселенной. В настоящее время средняя плотность

вещества Вселенной оценивается равной 10^{-29} кг/м^3, что означает, что наша Вселенная открытая и будет расширяться бесконечно. Таким образом, ***Вселенная представляется не только безграничной, но и пространственно бесконечной***.

Теоретический вывод Фридмана о расширении Вселенной был подтверждён в 1929 году американским астрономом Э.Хабблом. Проведенные им измерения скоростей галактик свидетельствовали о том, что все далекие галактики удаляются от нашей Галактики, причем *скорость удаления галактики* υ *возрастает прямопропорциональна расстоянию* l *до неё, то есть* $\upsilon = Hl$ (закон Хаббла), где H – постоянная Хаббла.

По современным данным, её величина $H = 75$ км/(с·Мпк). Таким образом, скорость разбегания галактик увеличивается примерно на 75 км/с на каждый один миллион парсек. При данной скорости экстраполяция к прошлому приводит к выводу, что возраст Вселенной составляет около 15 млрд лет.

Постоянная Хаббла постоянна в том смысле, что не зависит от l, с течением же времени её значение может изменяться.

3. *Концепция Большого Взрыва.*

Исходя из положения о том, что Вселенная в настоящее время находится в состоянии расширения, ученые, оперируя математическими моделями, пришли к заключению, что в далеком прошлом, она должна была находиться в сжатом состоянии.

Расчеты, выполненные учеными показали, что около 13-15 млрд лет назад вещество Вселенной было сконцентрировано в очень малом объеме, около 10^{-33} см^3 и имело сверхвысокую плотность $\rho = 10^{93}$ г/см^3 при температуре 10^{27} K. Это первоначальное состояние вещества Вселенной называется сингулярным. Предполагают, что наблюдаемая в настоящее время Вселенная возникла вследствие гигантского взрыва этой исходной космической материи – *Большого Взрыва Вселенной.* Концепция Большого взрыва объясняет многие моменты эволюции Вселенной, но не отвечает на вопрос, из чего же она возникла. Эту задачу решает теория инфляции.

4. *Теория инфляции (теория раздувающейся Вселенной).*

Эта теория возникла как дополнение и развитие концепции Большого взрыва. Из неё следует, что Вселенная возникла из вакуума. В соответствии с современными научными представлениями в вакууме отсутствуют физические частицы, поля и волны. Однако в нем имеются виртуальные частицы, которые рождаются за счет энергии вакуума и тут же исчезают. Когда вакуум по какой-то причине в некоторой точке возбудился и вышел из состояния равновесия, то виртуальные частицы стали захватывать энергию без отдачи и превращаться в реальные частицы. Этот период зарождения Вселенной и называют фазой раздувания (или инфляции). В фазе инфляции пространство нашей Вселенной увеличивается от миллиардной до-

ли размера протона до нескольких сантиметров. Такое расширение в 10^{50} раз больше, чем предполагалось в концепции Большого взрыва. К концу фазы раздувания Вселенной образовалось огромное множество реальных частиц вместе со связанной ими энергией.

При разрушении возбужденного вакуума высвободилась гигантская энергия излучения, а некая суперсила сжала частицы в сверхплотную материю. Из-за высокой температуры и огромного давления Вселенная продолжала раздувание, но теперь уже с ускорением. В итоге сверхплотная и сверхгорячая материя взорвалась. В момент Большого взрыва тепловая энергия превратилась в механическую и гравитационную энергии масс. Это означает, что Вселенная возникла в соответствии с законом сохранения энергии.

Таким образом, согласно теории инфляции Вселенная на ранних стадиях своего возникновения имела неустойчивое вакуумоподобное состояние с большой плотностью энергии. Эта энергия, как и исходная материя, возникла из квантового вакуума, то есть из ничего.

5. В середине XX в. формируется *концепция горячей Вселенной.*

Согласно этой концепции, на ранней стадии развития (вскоре после Большого взрыва) Вселенная была очень горячей ($T \sim 10^{27}$ K) и заполненной частицами. Кинетическая энергия частиц при такой температуре была достаточной, чтобы при их столкновениях рождались самые разнообразные новые частицы. В результате весьма быстро установился равновесный состав родившейся Вселенной: количество частиц каждого сорта определялось исключительно их массой (то есть энергией покоя). Этот вывод не зависит от характера взаимодействия между частицами, поскольку выражает вероятность обнаружить систему в состоянии с энергией, отличающейся от среднего значения на E, зависит только от величины E и температуры T и пропорциональна $e^{-E/kT}$, где e – основание натурального логарифма, k – постоянная Больцмана. Чем больше масса частицы, тем больше ее энергия и соответственно меньше вероятность возникнуть в результате тепловых столкновений.

К моменту времени 10^{-6} с кварки объединяются и образуют барионы (частицы с полуцелым спином) и мезоны (частицы с целым или нулевым спином). Важнейшие из барионов – протоны и нейтроны. Сильное взаимодействие между ними осуществляется не просто элементарными глюонами, а составными частицами-переносчиками – пионами, каждый из которых состоит из кварка и антикварка. Барионы, и мезоны, как сильно взаимодействующие частицы, относятся к классу адронов. Поэтому, этап эволюции Вселенной продолжительностью от 10^{-43} до 10^{-4} с, называют *адронной эрой* в истории Вселенной. За это время температура падает до 10^{12} K, а плотность материи понижается $\rho \cdot 10^{14}$ кг/м^3.

Дальнейшая тенденция в развитии Вселенной, обусловлена ее охлаждением и связана с последовательным синтезом все более сложных вещественных структур из этих частиц с участием всех видов взаимодействий.

По мере понижения температуры энергия теплового движения перестает быть достаточной для рождения тяжелых частиц. Все они нестабильны, и потому до наших дней не дожили (произошло вымирание («вымораживание») тяжелых частиц).

В ту же эпоху произошло нарушение важнейшей симметрии – между частицами и античастицами, – в результате которого, частиц оказалось на одну миллиардную долю больше, чем античастиц (именно из этой доли состоят сегодняшние звезды, планеты и люди: все остальные частицы и античастицы взаимно *аннигилировали*, превратившись в электромагнитное излучение), а также полной симметрии *(равных количеств)* протонов и нейтронов. Нейтроны как более массивные частицы оказались неустойчивыми и стали распадаться по схеме $n \to p + e^- + \tilde{\nu}_e$. Из двух нуклонов – протона и нейтрона – существование протона энергетически более выгодно. В общем случае эта реакция обратима, но при понижении температуры скорость обратной реакции резко падает, в результате чего количество нейтронов уменьшилось до 15-20 % от всех нуклонов. В течение времени то 10^{-4} до 300с преобладали подобные процессы с участием лептонов (электронов, позитронов, нейтрино и антинейтрино). Этот второй этап в эволюции Вселенной называется *лептонной эрой*.

Если бы процессы распада нейтронов происходили и дальше, то через два-три часа (свободный нейтрон распадается в среднем за 15 минут) нейтронов во Вселенной практически не осталось бы. Последствия были бы поистине ужасны. Единственный химический элемент, ядра атомов которого не содержат нейтронов – водород. Вселенная могла бы состоять из одного водорода, и в этом случае в ней не было бы ни звезд, ни планет, ни живых существ.

Спасло ситуацию продолжающееся уменьшение температуры (ниже 10^9 K), когда становятся возможными процессы образования сложных ядер. Эта *эпоха нуклеосинтеза* занимает время внутри лептонной эры от 1 до 300 с после Большого Взрыва. В этом интервале времени физические условия во Вселенной таковы, что кванты и другие частицы имеют относительно небольшие энергии и не в состоянии разрушить ядра простейшего сложного элемента – тяжелого изотопа водорода (дейтерия) D, образовавшиеся в результате соединения нейтронов с протонами по схеме $n + p \to \mathrm{D} + h\nu$. Тут же происходят и дальнейшие термоядерные реакции с возникновением ядер сверхтяжелого изотопа водорода (трития) T и изотопов гелия ${}^3_2\mathrm{He}$ и ${}^4_2\mathrm{He}$:

$$\mathrm{D} + \mathrm{D} \to \mathrm{T} + p; \quad \mathrm{T} + \mathrm{D} \to {}^4_2\mathrm{He} + n; \quad \mathrm{D} + \mathrm{D} \to {}^3_2\mathrm{He} + n; \quad {}^3_2\mathrm{He} + n \to \mathrm{T} + p.$$

Конечный продукт реакции – ядро гелия с массовым числом 4:

$$T + D \rightarrow {}^{4}_{2}He + n.$$

Реакции эти шли и раньше, но возникавшие альфа-частицы ($^{4}_{2}He$) тут же разрушались из-за слишком высокой температуры. Когда же температура упала настолько, что нейтроны стали «вымерзать», одновременно ядра гелия приобрели способность «держать» потерявшие свою силу удары окружающих частиц. За короткое время, несколько секунд, все нейтроны были связаны в ядра гелия. В ядре же они могут существовать бесконечно. Именно благодаря этому процессу до наших дней дожило достаточно нейтронов, чтобы обеспечить образование различных химических элементов.

Теоретический анализ привел к выводу, что к моменту времени 100 с образуется по массе 25 % ядер гелия, а 75 % нуклонов остаются в виде в протонов (ядер водорода) и нейтронов. Более тяжелые ядра в условиях космического пространства образоваться не могут. Их синтез происходил и происходит до сих пор только в недрах звезд, где имеются необходимые температура и давление.

К моменту, когда возраст Вселенной достиг 10 с, лептонная эра ушла в прошлое, оставив после себя очень горячую плазму плотностью 5 кг/см^3, преимущественно состоящую из фотонов. Началась новая эра эволюции, когда плотность электромагнитного излучения превышала плотность вещества. Её называют *радиационной эрой*.

В начале этой эры было еще довольно много лептонов, но за счет аннигиляции они быстро исчезали, превращаясь в излучение. Вселенная от состояния, когда плотность массивных частиц была близка к плотности фотонов, перешла к состоянию, в котором плотность фотонов на много порядков превосходила плотность вещественных частиц и практически полностью стала состоять из фотонов и нейтрино. Появились условия, при которых среда стала прозрачной для излучения (радиации). Радиация словно оторвалась от вещества, с которым до того она была связана неразлучно. Излучение, как и вещество, охлаждалось по мере расширения Метагалактики. В начале *эры радиации* его температура была тоже примерно 3000 K, а сейчас (спустя миллиарды лет, прошедшие с начала расширения Вселенной) – всего ~ 3 K. Это излучение является изотропным с точностью, по крайней мере, до 10^{-4} и называется *реликтовым излучением.* Оно равномерно распределено во Вселенной. Это свидетельствует о том, что молодая Вселенная была однородной, бесструктурной, а структуры – скопления галактик, галактики и звезды – возникли на более поздних этапах её эволюции.

Реликтовое излучение было экспериментально обнаружено в 1965 году американскими астрофизиками А.Пензиасом и Р.Вильсоном (удостоенными за это открытие в 1967 году Нобелевской премии). Длина волны реликтового излучения от нескольких миллиметров до десятков сантиметров, а

интенсивность очень мала и соответствует излучению абсолютно чёрного тела с температурой около 3 К.

Открытие реликтового излучения явилось одним из аргументов, подтверждающих концепцию расширяющейся горячей Вселенной. Другими убедительными аргументами, подтверждающими обоснованность космологической модели расширяющейся Вселенной, являются:

– расширение Вселенной в соответствии с законом Хаббла;

– однородность светящейся материи на расстояниях порядка 100 Мпк.

Таким образом, *расширяющаяся Вселенная – однородная, изотропная, нестационарная и горячая.*

В радиационную эру произошло еще одно важное событие – в результате синтеза образовалось первое ядро тяжелее водорода. Примерно через минуту после Большого Взрыва температура снизилась до 10^9 К. Вселенная остыла настолько, что при столкновении протона и нейтрона стали эффективно образовываться ядра дейтерия. При соударении двух ядер дейтерия стали возникать ядра гелия. За короткое время (примерно 3 часа) 20 – 25 % вещества Вселенной (по массе) превратилось в гелий. Это основной механизм происхождения гелия. В звездах образуется лишь сравнительно небольшое количество гелия. Более детально механизм дозвездного нуклеосинтеза описан выше.

Около 10^6 лет тому назад температура Вселенной понизилась до 3000 К. При такой температуре происходит объединение протонов и электронов в атомы водорода. Плазменное состояние вещества Вселенной сменяется состоянием нейтральных атомов (среди них уже есть атомы дейтерия и гелия) и излучение перестает взаимодействовать с веществом. Разделение вещества и излучения привело к усилению влияния первичных неоднородностей в распределении вещества, что в свою очередь привело к образованию галактик и сверхгалактик. Более мелкие неоднородности привели к образованию звезд.

12.1.3. Виды материи и их вклад в её общую плотность во Вселенной

Видимая часть материи представляет собой обычное барионное вещество, состоящее из атомов, молекул и элементарных частиц. По современным представлениям, на видимую материю приходится около 4 % вещества во Вселенной, остальные 96 % составляют темная материя и темная энергия (рис. 12.1). К объектам видимой материи относятся звезды, планеты и т.д.

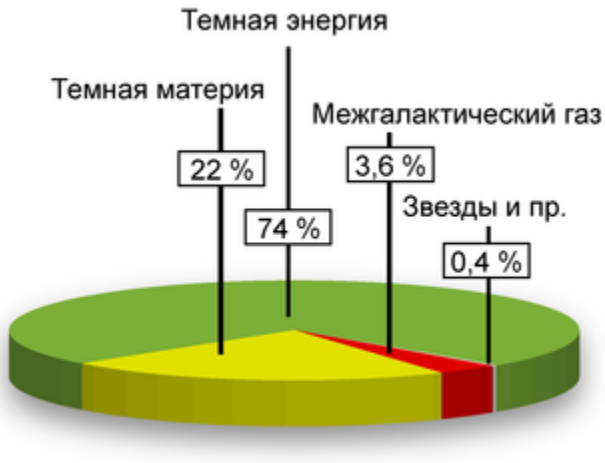


Рис. 12.1

Тёмная материя – это скрытая масса, т.е. материя невидимая в телескоп. Она не излучает и не поглощает электромагнитное или нейтринное излучения. Однако темная материя, как и обычное вещество, способна собираться в сгустки (размерами с галактику или скопление галактик), обладает массой и участвует в гравитационных взаимодействиях так же, как обычное вещество. Скорее всего, она состоит из новых, не открытых еще в земных условиях легких частиц, не взаимодействующих с излучением.

Тёмная материя обнаруживает себя косвенно по гравитационным эффектам, оказываемым на видимые объекты. К ним относятся:

1. *Гравитационное притяжение её больших скоплений.* Оно заставляет быстрее двигаться светящиеся звёзды и быстрее вращаться внешние части галактик. Тёмная материя удерживает по нескольку тысяч галактик гравитационно связанными в скоплениях.

2. *Эффект «гравитационной линзы».* Он проявляется в виде искажения изображения видимого объекта. Например, удаленные галактики изображаются несколько раз по разными углами зрения.

Темная энергия – как и темная материя, составляет значительную часть скрытой массы Вселенной. Но в отличие от темной материи, она не собирается в сгустки, а равномерно заполняет всё пространство Вселенной. В галактиках и скоплениях галактик её столько же, сколько вне их. Темная энергия обладает **гравитационным отталкиванием,** которое и приводит к ускорению расширения Вселенной**.** В этом случае имеет смысл говорить об антигравитации: обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик, а в нашей Вселенной, получается, всё наоборот. Такая картина, вообще говоря, не противоречит общей теории относительности, однако для этого темная энергия должна обладать специальным свойством – отрицательным давлением. Это резко отличает её от обычных форм материи. Не будет преувеличением сказать, что ***природа темной энергии – это главная загадка фундаментальной физики XXI века***. Эта

форма материи доминирует в современную эпоху, её вклад в общую плотность материи составляет 74 %.

12.2. Галактики

Часть Вселенной, доступная исследованию астрономическими средствами, соответствующими достигнутому уровню развития науки, называется *Метагалактикой*.

Главные составляющие Метагалактики – *галактики* – крупномасштабные звёздные системы, содержащие десятки, сотни миллиардов звёзд. Кроме звёзд и планет галактики содержат разряжённый газ и космическую пыль. Все объекты галактики находятся в гравитационном взаимодействии между собой.

Размеры галактик от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч световых лет. А расстояние между галактиками достигает миллионов световых лет. Около 90 % массы галактик приходится на долю темной материи и энергии. Природа этих невидимых компонентов пока не изучена. Существуют свидетельства того, что в центре многих галактик находятся сверхмассивные чёрные дыры. Пространство между галактиками практически не содержит вещества и имеет среднюю плотность меньше одного атома на кубический метр. Предполагают, что в видимой части Вселенной находится около 100 млрд. галактик.

Галактики различаются по форме, в соответствии с которой их классифицируют как:

– эллиптические;
– линзообразные;
– обычные спиральные;
– пересеченные спиральные;
– неправильные.

Эллиптические галактики – скопления звезд, имеющие сферическую или эллиптическую форму и равномерную яркость, постепенно убывающую от центра к краю. В них содержится незначительное количество газа и пыли, поэтому отсутствуют области, где могли бы зарождаться звезды, и нет молодых звезд.

Рождение звезд в таких галактиках происходит одновременно с образованием самих галактик. Цвет у эллиптических галактик красноватый, так как они состоят преимущественно из старых звезд. Размеры их различны – от самых больших и массивных, состоящих из миллиона миллионов звезд, до самых слабых скоплений, содержащих менее миллиона звезд. Доля эллиптических галактик в общем числе галактик в наблюдаемой части Вселенной – около 25 %.

Наиболее распространенным типом галактик являются *спиральные*. Их строение гораздо более сложное, чем эллиптических. Спиральная галактика имеет хорошо выраженное ядро, а также спиральные ветви (рукава) звездного происхождения, исходящие прямо из ядра, либо из так называемой перемычки (бара), в центре которого расположено ядро. Они имеют голубоватый цвет, так как в них присутствует много молодых гигантских звезд. Эти звезды возбуждают свечение диффузных газовых туманностей, разбросанных вместе с пылевыми облаками вдоль спиральных ветвей. Диск спиральной галактики обычно окружён большим сфероидальным гало (светящееся кольцо вокруг объекта; оптический феномен), состоящим из старых звёзд второго поколения.

Минимальная масса спиральной галактики – 1 млрд. солнечных масс. Все спиральные галактики вращаются со значительными скоростями, поэтому звезды, пыль и газы сосредоточены у них в узком диске. Обилие газовых и пылевых облаков и присутствие ярких голубых гигантов говорит об активных процессах звездообразования, происходящих в спиральных рукавах этих галактик. Доля спиральных галактик в общем числе галактик в наблюдаемой части Вселенной – около 55 %.

Типичным представителем спиральных галактик является наша Галактика (Млечный Путь). В эту сравнительно молодую, по мнению большинства ученых галактику, входит Солнце вместе с планетной системой. Её центральная часть имеет вид выпуклости, от которой отходя два спиральных рукава, образуя плоский звездный диск толщиной около 70 тыс. световых лет. Млечный Путь состоит примерно из 150 млрд. звёзд. В то время как сотни миллиардов звезд и туманностей движутся во всех направлениях внутри нашей Галактики, сама она медленно вращается вокруг своей оси, делая полный оборот каждые 180 млн. лет. Наша Галактика чрезвычайно велика; от одного её края до другого световой луч путешествует около 100 тыс. земных лет. На расстоянии 23000 световых лет от центра Галактики (на периферии) вблизи её экваториальной плоскости расположено Солнце. Солнце обращается вокруг центра Галактики со скоростью 190 км/с и совершает один оборот за 220 млн. лет (галактический год).

Спутник Млечного Пути, туманность Андромеды, – одна из самых массивных среди известных спиральных галактик. Её масса равна 400 млрд. масс Солнца (не включая темную материю).

Линзообразные галактики – это промежуточный тип между спиральными и эллиптическими. У них есть гало и диск, но нет спиральных рукавов. Их примерно 20 % среди всех звездных систем. В этих галактиках яркое основное тело – линза, окружено слабым ореолом. Иногда линза имеет вокруг себя кольцо.

Неправильные (пекулярные) – это галактики, которые не обнаруживают ни спиральной ни эллиптической структуры. Чаще они имеют хаотичную

форму («растрепанный» вид) без ярко выраженного ядра и спиральных ветвей. В процентном отношении составляют одну четверть от всех галактик. Большинство неправильных галактик в прошлом являлись спиральными или эллиптическими, но были деформированы гравитационными силами. Их масса менее 1 млрд солнечных масс. Самые малые из неправильных галактик не намного больше, чем скопления звезд и газа, встречающиеся в рукавах спиральных галактик.

Скопление галактик – это совокупность относительно близко расположенных галактик, связанных взаимным гравитационным притяжением. Они могут содержать всего несколько галактик или тысячи.

Наша Галактика – Млечный Путь принадлежит к небольшой ассоциации, известной как Местная группа. Самые большие члены Местной группы: наша Галактика, гигантская спиральная галактика М31 (туманность Андромеды), маленькая спиральная галактика М33 в созвездии Треугольника и некоторые карликовые эллиптические и неправильные галактики, в основном являющиеся спутниками Млечного Пути и М31. В их числе Большое и Малое Магеллановы облака и карликовая эллиптическая галактика в созвездии Стрельца – ближайшая к нам самостоятельная звездная система. Члены Местной группы движутся друг относительно друга, но при этом связаны взаимным тяготением и поэтому длительное время занимают ограниченное пространство размером около 6 млн. световых лет и существуют отдельно от других подобных групп галактик. Считается, что все члены Местной группы имеют общее происхождение и эволюционируют совместно уже около 13 млрд лет.

12.3. Звезды

12.3.1. Общие характеристики звезд

Основное население галактик – звёзды – самосветящиеся небесные тела, состоящие из раскаленных газов. Ближайшая к нам звезда – Солнце. Расстояние от Земли до Солнца – 8,3 световой минуты.

Состав звезд, а также их температуру исследуют посредством спектрального анализа. *Спектральный анализ* – астрофизический метод изучения химического состава светил путем исследования их спектров.

Изучение спектров звезд показало, что они состоят из атомов тех же химических элементов, что и все тела на Земле. В составе звезд преобладают водород (около 50 % по массе) и гелий (около 40 %). Атомы остальных химических элементов встречаются почти в таком же соотношении, как и на Земле. Вещество звезд представляет собой раскаленный сильно ионизированный газ (плазму).

Внутреннее строение звезд рассчитывается, исходя из следующего: элементарные частицы – электроны, протоны, фотоны и др. – одни и те же

и в звездах, и на Земле. Поэтому при изучении внутреннего строения звезд применяют общие законы физики. Согласно современным представлениям, звезды светят вследствие того, что в их недрах происходят термоядерные реакции: водород превращается в гелий, в результате чего и выделяется атомная энергия. Поскольку содержание атомов водорода в звездах велико, за счет таких преобразований большинство звезд может излучать энергию. Вследствие происходящих атомных превращений постепенно меняется их химический состав, что может служить указанием на направление звездной эволюции.

Основными физическими характеристиками звёзд, на которых основывается их классификация, являются: температура, светимость, масса, радиус и спектральный класс (цвет).

Температура звезды определяет её цвет, то есть спектральные характеристики. Известно, что температуру нагретого тела оценивают по зависимости интенсивности излучения от длины волны. Чем выше температура излучающего тела, тем дальше в область коротких волн сдвигается максимум интенсивности излучения. Этот факт сформулирован в законе Вина: *длина волны, на которую приходится максимум энергии, излучаемой абсолютно черным телом, обратно пропорциональна его температуре*.

Если температура поверхностных слоев звезды (как и любого нагретого тела) 3000–4000 K, то ее цвет красный, при температуре 6000–7000 K – желтый. Очень горячие звезды имеют белый и голубоватый цвета (10000–12000 K). Подавляющее большинство звезд имеют температуру около 3500 K. По направлению к центру звезды температура повышается и в центре достигает миллионов и десятков миллионов градусов. В недрах звезд происходит превращение водорода в гелий, эти реакции поддерживают мощное тепловое и световое излучение звезд в течение огромных промежутков времени.

Наблюдаемые на небе звезды характеризуются различным *блеском,* интенсивность которого определяется *звездной величиной.*

Звездная величина – принятая в астрономии единица измерения видимого блеска звезд и других небесных тел. Чем слабее светится звезда, тем больше число, обозначающее ее звездную величину.

Самые яркие назвали звездами первой величины. Самые слабые из видимых невооруженным глазом относят к звездам шестой величины. Звезды первой величины ярче звезд шестой величины в 100 раз. В бинокль видны звезды восьмой-девятой величин, а в телескоп – еще более слабые. Звезд первой величины на всем небе около 20. Звезд второй величины, таких, как главные звезды созвездия Большой Медведицы, – около 70. Всего видимых звезд, то есть звезд шестой величины и ярче, около 6000. Учитывая, что над горизонтом видна только половина всего неба, одновременно наблюдать можно максимально около 3000 звезд.

Звездная величина не имеет прямого отношения к действительной интенсивности испускаемого звездой излучения. Истинная сила света звезды характеризуется светимостью.

Светимость – определяется отношением силы света звезды к силе света Солнца.

Зная расстояние до звезды и ее видимый блеск с Земли, вычисляют, каким был бы блеск звезды, если бы она находилась на расстоянии Солнца. Отношение такого предполагаемого блеска звезды к блеску Солнца характеризует ее светимость. Если светимость звезды равна 5, то это значит, что она в 5 раз ярче Солнца. Если светимость обозначается 0,2, то такая звезда в 5 раз слабее Солнца. Наибольшей известной светимостью, в 400 раз большей светимости Солнца, обладает звезда S из созвездия Золотой Рыбы.

Число звезд большой светимости среди звезд, видимых невооруженным глазом, непропорционально велико, так как такие звезды видны на больших расстояниях. На самом деле звезды большой светимости в окрестностях Солнца встречаются гораздо реже, а звезды с меньшей светимостью – чаще. Из 20 ближайших к нам звезд только 3 видны невооруженным глазом, а из 20 звезд, кажущихся нам яркими, только 3 входят в число ближайших.

Основной метод определения расстояний до звезд состоит в измерении их видимых смещений, вызываемых обращением Земли вокруг Солнца. По смещению, величина которого обратно пропорциональна расстоянию, вычисляют и само расстояние. Годичные смещения звезд составляют обычно доли микронов, реже – несколько микронов. Расстояние до звезд может определяться и другими способами: например, исходя из светимости звезды и ее блеска.

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

Оценить радиус звезды можно с помощью закона Стефана-Больцмана: энергия Q, излучаемая единицей площади поверхности нагретого тела, пропорциональна четвертой степени температуры T тела

$$Q = \sigma T^4.$$

Полная энергия L, испускаемая звездой (светимость), зависит от величины площади её поверхности, которая, в свою очередь определяется радиусом звезды R:

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

где σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Из этой формулы можно выразить радиус звезды и подсчитать его величину, зная её светимость и температуру.

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

При возрастании температуры меняется не только длина волны, которой соответствует максимум излучения, но и проявляется влияние внешних оболочек звезды на ее спектр. Классификация звезд по особенностям их спектров излучения называется спектральной. Она содержит семь классов, обозначаемых буквами O, B, A, F, G, K, M – от самых горячих звезд к самым холодным. Каждый класс разбивается на 10 подклассов (например $B0$, $B1$, $B2$ ... $B9$). Солнце – звезда класса $G2$ (табл. 12.1).

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

Таблица 12.1

Звездные спектры и температура звезды

Класс	Температура, К	Класс	Температура, К
O	50 000	$G2$ (Солнце)	5800
$B0$	25 000	$K0$	5100
$A0$	11 000	$M0$	3600
$F0$	7600	R и N (очень холодные)	2000
$G0$	6000		

Химический состав звезды определяют по ее спектру излучения. Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно следующим образом. На 10 000 атомов водорода приходится 1000 атомов углерода, 5 атомов кислорода и менее одного атома других химических элементов. В то же время необходимо отметить, что тяжелые элементы, занимая во Вселенной весьма скромное место, определяют характер эволюции звезд. Кроме того, вопрос возникновения жизни на Земле, существования жизни во Вселенной прямо связан с эволюцией химических элементов, их происхождением.

Класс A, например, включает так называемые водородные звезды (со спектрами излучения, характерными для водорода). Типичная звезда этой группы – Сириус.

Класс F включает звезды, в спектрах которых особо выделяются спектральные линии кальция и водорода.

К классу G относятся звезды, в спектрах которых кроме спектральных линий кальция и водорода видны спектральные линии многих металлов, особенно железа. Солнце принадлежит к этой группе, поэтому звезды такого типа часто называют звездами солнечного типа.

Звезды класса K имеют в спектрах интенсивные линии кальция и линии, указывающие на присутствие других металлов.

В класс M входят звезды, спектры которых содержат полосы, характерные для окислов металлов, особенно окиси титана. Максимум их излучения сдвинут в красную область спектра. Типичный представитель – звезда Бетельгейзе (созвездие Ориона).

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

В самом начале XXв. датский астроном Э. Герцшпрунг и несколько позже американский астрофизик Г. Рессел установили существование зависимости между видом спектра (т.е. температурой) и светимостью звезд. Эта зависимость иллюстрируется графиком, на одной оси которого откладывается спектральный класс, а на другой абсолютная звездная величина. Такой график называется *диаграммой спектр – светимость или диаграммой Герцшпрунга – Рессела* (рис. 12.2).

Вместо абсолютной звездной величины можно откладывать светимость (обычно в логарифмической шкале), а вместо спектральных классов – показатели цвета или непосредственно температуру.

Положение каждой звезды в той или иной точке диаграммы определяется ее физической природой и стадией эволюции. Поэтому на диаграмме Герцшпрунга – Рессела как бы запечатлена вся история рассматриваемой системы звезд. В этом огромное значение диаграммы спектр – светимость, изучение которой является одним из важнейших методов звездной астрономии. Оно позволяет выделить различные группы звезд, объединенные общими физическими свойствами, и установить зависимость между некоторыми их физическими характеристиками, а также помогает в решении ряда других проблем (например, в исследовании химического состава, и эволюции звезд).

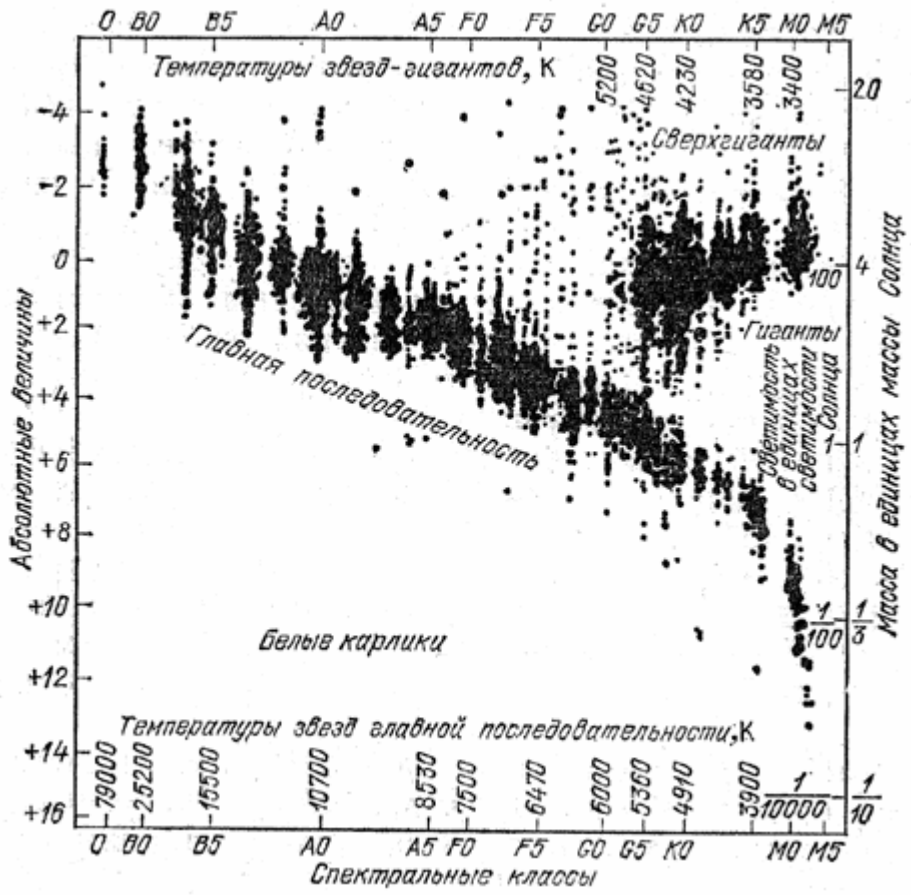


Рис. 12.2

Звезды лежат на этой диаграмме не случайным образом, а образуют явно выраженные последовательности. Большинство звезд находится в пределах сравнительно узкой полосы, идущей от левого верхнего угла диаграммы к правому нижнему. Это так называемая *главная последовательность*. Вдоль нее расположены звезды, начиная от самых горячих (в верхней части) до наиболее холодных (в нижней).

В верхнем правом углу – довольно беспорядочная группировка звезд. Их спектральные классы – G, K, M. Это яркие звезды с абсолютными звездными величинами от $+2$ до -6 – «красные гиганты».

В левой нижней части диаграммы – небольшое количество звезд. Их абсолютные величины $+10$ и больше, а спектральные классы от B до F. То есть это горячие звезды с низкой светимостью. Но низкая светимость при высокой поверхностной температуре может быть только тогда, когда радиус звезды мал. В этой части диаграммы находятся маленькие горячие звезды – «белые карлики».

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

12.3.2. Эволюция звезд

Как и другие тела в природе, звезды не остаются неизменными, они рождаются, эволюционируют, и, наконец, умирают. Рождение звезд обусловлено тем, что на ранних стадиях расширения Вселенной после Большого Взрыва в ней возникали неоднородности (слабые разрежения и сжатия вещества). Единственными силами, приводящими к образованию неоднородностей в распределении вещества во Вселенной, являются гравитационные силы.

Вследствие случайного возрастания плотности из рассеянного во Вселенной вещества формируется богатое водородом газопылевое облако. Под влиянием сил гравитационного взаимодействия это облако уплотняется, образуя газовый шар. Известно, что шар имеет наименьшую площадь поверхности при данном объеме. Поэтому образование шара из облака неопределенной формы энергетически выгодно.

За счет гравитационных сил шар сжимается, плотность возрастает. Вещество теряет прозрачность, но остается газом. Внутри шара растет давление, противодействующее гравитационным силам. При адиабатном сжатии (отсутствует обмен энергией с внешней средой) температура шара (это уже протозвезда) увеличивается, часть энергии излучается в пространство.

На диаграмме Герцшпрунга-Рессела эти объекты, имеющие низкую температуру поверхности, располагаются справа от главной последовательности. Они имеют разные размеры и соответственно называются «красными карликами» или «красными гигантами» (красные – потому, что спектр их излучения сдвинут в красную сторону, что соответствует относительно низким температурам).

В дальнейшем протозвезда под действием гравитационных сил продолжает сжиматься. Ее размеры уменьшаются, поверхностная температура растет. То есть протозвезда «приходит» на главную последовательность. В этот период температура и плотность недр звезды становятся достаточными для начала термоядерной реакции. Давление и температура внутри звезды возрастают, гравитационные силы и силы внутреннего давления становятся равными, газовый шар перестает сжиматься. Протозвезда становится звездой.

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

Оказавшись на главной последовательности и перестав сжиматься, звезда в течение значительного времени излучает, не меняя положения на диаграмме «спектр-светимость» (табл. 12.2). Ее излучение поддерживают

термоядерные реакции в центральных областях, а размер – противодействие гравитационных сил и сил внутреннего давления.

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

Таблица 12.2

Связь массы и светимости звезды со временем ее пребывания на главной последовательности

Спектральный класс	Масса (в массах Солнца)	Светимость (в солнечных единицах)	Время пребывания на главной последовательности (миллионов лет)
$B0$	17	30 000	8
$A0$	3,2	100	400
$F0$	1,5	5	4000
$G0$	1,02	1,2	11 000
$G2$ (Солнце)	1,00	1,00	13 000
$K0$	0,74	0,32	28 000

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

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

$$4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\nu_e + 2e^{+} + 26 \text{ МэВ}.$$

При такой термоядерной реакции из 4 ядер водорода образуется одно ядро гелия, два нейтрино ν_e, два позитрона e^{+} и выделяется 26 МэВ энергии. Среднее время реакции при температурах порядка 13 миллионов Кельвинов и плотности водорода 100 г/см^3 около 10^{10} лет (в центре Солнца). То есть вероятность слияния данных четырех ядер водорода – величина, обратная этому времени, – ничтожно мала. Однако таких ядер огромное число, и в условиях центра звезды возможна эффективная реакция термоядерного синтеза указанного типа. В земных условиях, в термоядерной бомбе, при разработке устройств управляемого термоядерного синтеза

реализуются реакции синтеза других ядер (дейтерия, трития, их комбинаций с литием).

В наружных областях звезды водород не «выгорает» из-за низких значений температуры и давления. Так как количество водорода в центральных областях звезды ограничено, рано или поздно (в зависимости от массы звезды) он практически весь «выгорит». Это приводит к уменьшению массы и радиуса центральной области звезды, и звезда перемещается на диаграмме «спектр-светимость» вправо.

Когда весь водород в центральной области превратится в гелий, внутри звезды образуется гелиевое ядро. Теперь уже водород будет превращаться в гелий не в центре звезды, а в слое, прилегающем к очень горячему гелиевому ядру. Пока внутри гелиевого ядра нет источников энергии, оно будет постоянно сжиматься и при этом еще более разогреваться. Сжатие ядра приводит к более бурному выделению ядерной энергии в тонком слое у границы ядра. У более массивных звезд температура ядра при сжатии становится выше 80 млн Кельвинов, и в нем начинаются термоядерные реакции превращения гелия в углерод, а потом и в другие более тяжелые химические элементы. Выходящая из ядра и его окрестностей энергия вызывает повышение газового давления, под действием которого внешняя оболочка (фотосфера звезды) расширяется. Энергия, приходящая к фотосфере из недр звезды, распространяется теперь на большую площадь, чем раньше. В связи с этим температура фотосферы понижается. Звезда сходит с главной последовательности, постепенно превращаясь в «красного гиганта» или «сверхгиганта» в зависимости от массы, и становится старой звездой.

Проходя стадию желтого сверхгиганта, звезда может оказаться пульсирующей, то есть физической переменной звездой, и остаться такой в стадии красного гиганта. Раздувшаяся оболочка звезды небольшой массы уже слабо притягивается ядром и, постепенно удаляясь от него, образует планетарную туманность. После окончательного рассеяния оболочки остается лишь горячее ядро звезды – «белый карлик». «Белые карлики» как бы «вызревают» в недрах «красных гигантов». «Белые карлики», в которых весь водород выгорел, и ядерные реакции прекратились, представляют собой последний этап эволюции звезды. Постепенно остывая, они излучают все меньше и меньше энергии, светимость падает, гравитационные силы сжимают вещество. «Белые карлики» постепенно переходят в разряд «черных» карликов – холодных звезд огромной плотности и небольшого размера (порядка земного при массе порядка солнечной). Этот процесс длится сотни миллионов лет.

Так прекращают свое существование большинство звезд. Однако финал жизни звезд, массы которых превышают солнечную, может быть иным.

Если масса звезды примерно вдвое превышает массу Солнца, то такие звезды на последних этапах своей эволюции теряют устойчивость. В частности, они могут взорваться как сверхновые, а затем катастрофически сжаться до размеров шаров радиусом в несколько километров, то есть превратиться в нейтронные звезды.

Звезда, масса которой более чем вдвое превышает массу Солнца, потеряв равновесие и начав сжиматься, либо превратится в нейтронную звезду, либо вообще не сможет достигнуть устойчивого состояния. В процессе неограниченного сжатия с огромной скоростью плотность вещества её начнет резко расти. Через весьма короткое время (несколько секунд) звезда может превратиться в сверхплотную точку, будет раздавлена своей собственной массой (гравитационный коллапс). Подобные объекты описываются законами общей теории относительности. Вблизи них замедляется течение времени, из такого объекта не может выйти никаких излучений и частиц. То есть этот объект для внешнего мира будет заметен только по очень сильному гравитационному полю. Его называют гравитационной могилой, или черной дырой.

12.3.3. Типы звезд

Мир звезд чрезвычайно разнообразен. Находясь на различных стадиях своего эволюционного развития, звезды подразделяются на нормальные звезды (звезды главной последовательности), звезды карлики и звезды гиганты. Кроме перечисленных, существует еще несколько продуктов эволюции звезд:

Двойные звезды – системы, состоящие из двух звезд, каждая из которых обращается вокруг их общего центра тяжести. Обычно более яркую звезду в паре называют главной, а другую – ее спутником.

Ярчайшая звезда неба Сириус – двойная. Спутник этой звезды – белый карлик – обращается вокруг главной звезды за 50 лет и отстоит от нее в 20 раз дальше, чем Земля от Солнца.

Среди двойных звезд различают так называемые *спектрально-двойные звезды* – тесные пары звезд, которые нельзя увидеть раздельно при помощи современных оптических средств. Двойственность их обнаруживается по периодическим смещениям линий в спектрах.

Системы, состоящие из трех, четырех или более звезд, называются *кратными звездами.* Кратные звезды встречаются значительно реже, чем двойные.

Переменные звезды – звезды, блеск которых со временем меняется. Параллельно с изменением блеска меняются их цвет и температура, а иногда и размеры.

Причиной переменности может являться периодическое затмение одной звезды другой. Но гораздо чаще происходят действительные измене-

ния размеров и температур звезд: они сжимаются и расширятся – пульсируют. Промежутки между моментами наибольшего сжатия или расширения у одних переменных звезд составляют годы, у других – только часы.

В зависимости от характера изменения блеска и причин, его вызывающих, переменные звезды подразделяются на различные типы:

Затменные переменные звезды – очень тесные двойные звезды, плоскость орбиты которых проходит через луч зрения. При обращении вокруг общего центра тяжести обе звезды попеременно закрывают друг друга, так что общий блеск системы во время затмений ослабевает.

Другой разновидностью переменных звезд являются *цефеиды.* Их так называют по типичной представительнице этого класса звезд звезде δ в созвездии Цефея. Все цефеиды являются звездами-гигантами и сверхгигантами. Изменение блеска у них происходит строго периодически. Открытие зависимости между периодом изменения блеска у цефеид и их светимостью дало возможность определять расстояния до очень далеких звездных систем, если в них имеются цефеиды. Цефеиды – *пульсирующие звезды*. Пульсирует, расширяясь и сжимаясь, все тело звезды. При сжатии ее происходит нагревание, а при расширении – охлаждение. Изменение размера и температуры поверхности звезды и вызывает колебания ее излучения.

Новые звезды – звезды, излучение которых внезапно увеличивается в тысячи раз, а затем медленно уменьшается. Это некоторые красные карлики.

Изменения, происходящие в звезде за время вспышки, столь велики, что за несколько суток небольшая звезда-карлик превращается в гиганта. Блеск ее увеличивается более чем в 10 тыс. раз. От нее отделяется газовая оболочка, которая, продолжая расширяться, рассеивается в пространстве. В наибольшем своем блеске раздувшаяся оболочка больше нашего Солнца по диаметру в сотни раз. Новая звезда в большом блеске остается недолго, обычно около суток, затем ее блеск начинает ослабевать и звезда вновь сжимается до прежних размеров.

Исследованиями установлено, что в нашей Галактике ежегодно происходит около 100 вспышек новых звезд, но мы замечаем лишь ближайшие из них. Вспышка не означает возникновения или уничтожения звезды. Через некоторый промежуток времени эта же звезда может вспыхнуть вновь. Вспышки являются следствием нарушения устойчивости звезды, вызванного внутренними причинами. Сущность этих причин пока не выяснена. Иногда в нашей и других галактиках наблюдаются вспышки *сверхновых звезд.* При таких вспышках звезды излучают свет в миллионы и в сотни миллионов раз интенсивнее, чем Солнце. Сверхновые звезды – явление крайне редкое. Последней сверхновой звездой, наблюдавшейся в нашей Галактике, была звезда, которую наблюдал Кеплер в 1604 г. Таким образом, даже в таких гигантских звездных системах, как наша, вспышка сверхновой звезды бывает один раз в несколько столетий.

Как уже отмечалось ранее, в ряде случаев в результате вспышки сверхновой звезды остаток звездной массы катастрофически сжимается и звезда превращается в быстро вращающуюся нейтронную звезду. *Нейтронные звезды* – предполагаемые звезды, состоящие из нейтронов. Они чрезвычайно плотные и очень малы – имеют в поперечнике около 10 км.

Различают невидимые космические объекты, которые посылают огромное невидимое пульсирующее радиоизлучение, – *пульсары. Пульсары* – точечные источники радиоизлучения, испускающие импульсы с очень коротким периодом. Возможно, пульсары представляют собой нейтронные звезды.

В 1963 году были обнаружены объекты еще одного типа, *квазары* (англ. *quasar, quasi-stellar radiosourse* – квазизвездный источник радиоизлучения). Эти объекты имеют звездообразный вид, являются источниками мощного радиоизлучения и удаляются от нашей Галактики со скоростями до 200000 км/с. Они находятся на периферии Вселенной, дальше самых удаленных галактик. Мы можем их увидеть, это говорит о том, что их светимости превосходят светимости не просто звезд, а целых галактик. В то же время размеры квазаров в миллионы раз меньше размеров галактик. И если происхождение пульсаров было достаточно быстро понято, то природа квазаров до сегодняшнего времени неясна.

Предполагают, что многие звезды окружены планетами. Вследствие дальности расстояния пока еще не удается непосредственно увидеть планеты около других звезд даже в самые мощные телескопы. Для их обнаружения необходимы тонкие методы исследования, тщательные наблюдения в течение десятков лет и сложные расчеты.

Около некоторых ближайших звезд уже обнаружены невидимые спутники малой массы. Их вычислили по еле заметным движениям звезд под действием притяжения их невидимым спутником. Пока еще с достоверностью не установлено, являются ли эти спутники планетами или же крайне слабо светящимися маленькими звездами. Однако есть все основания предполагать, что наша планетная система не является исключительным явлением в мировом пространстве. На планетах, окружающих другие звезды, также вероятно существование жизни, и Земля не представляет в этом отношении исключения.

12.4. Солнечная система

12.4.1. Общая характеристика Солнечной системы

Солнечная система представляет собой группу небесных тел, весьма различных по размерам и физическому строению. В неё входят: Солнце, девять больших планет, десятки спутников планет, тысячи малых планет (астероидов), сотни комет, бесчисленное множество метеоритных тел,

движущихся как роями, так и в виде отдельных частиц, межпланетная среда. Все эти тела объединены в одну систему благодаря силе притяжения центрального тела – Солнца. Считается, что диаметр Солнечной системы равен приблизительно $6 \cdot 10^{16}$ м. На этом расстоянии планеты удерживаются силой тяготения Солнца.

Солнечная система является упорядоченной системой, имеющей свои закономерности строения. Единый характер Солнечной системы проявляется в том, что все планеты вращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении и почти в одной и той же плоскости. Большинство спутников планет вращается в том же направлении и в большинстве случаев в экваториальной плоскости своей планеты. Солнце, планеты, спутники планет вращаются вокруг своих осей в том же направлении, в котором они совершают движение по своим траекториям. Закономерно и строение Солнечной системы: каждая следующая планета удалена от Солнца примерно в два раза дальше, чем предыдущая. Большие планеты располагаются в порядке удаления от Солнца следующим образом: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Три последние планеты можно наблюдать с Земли только с помощью телескопа. Остальные видны как яркие светящиеся диски небольших диаметров и известны людям с древних времён.

12.4.2. Концепции происхождения Солнечной системы

Небулярная гипотеза Канта-Лапласа (от лат. *nebula* – туман). Французский философ И. Кант, подобно древнегреческим философам считал, что мир родился из хаоса огромного облака пылевых частиц, беспорядочно двигающихся в разных направлениях. Сталкиваясь друг с другом, притягиваясь, они изменяли направления своих движений, объединялись в более крупные сгустки. Под действием сил притяжения большинство из них устремлялись к центру, где начало расти ядро туманности – будущее Солнце. Из других сгустков, получивших орбитальное движение, сформировались планеты (1755 г.).

Французский ученый-физик П. Лаплас, разделяя взгляды Канта, исходил из предположения о горячей медленно вращающейся туманности, которая по мере охлаждения сжималась. По закону сохранения момента импульса, при этом росла скорость вращения, и центробежные силы отрывали от нее кольца. Материя в этих кольцах сжималась под действием тяготения, формируя компактные тела (1796 г.). Поскольку формирование колец и планет происходило в условиях вращения туманности и действия центробежных сил, эта гипотеза называется еще и *ротационной* (от лат. *rotatio* – вращение).

Приливная, или планетезимальная гипотеза. В начале XX в. американские астрофизики Т. Чемберлен и Ф. Мультон выдвинули теорию, соглас-

но которой произошла встреча Солнца со звездой, вызвавшей приливной выброс солнечного вещества, распавшегося затем на отдельные «капли» – *планетезимали*. Остывающие планетезимали и дали начало планетам и их спутникам (1906 г.)

Эту идею развил их коллега американский астрофизик С. Аррениус. Он предположил прямое столкновение Солнца со звездой, в результате которого появилось некое облако, распавшееся при вращении на части – основа планет (1913 г.).

Еще один американский астрофизик – Дж. Джинс – предположил, что какая-то звезда прошла неподалеку от Солнца и вызвала «приливные выступы», принявшие форму газовых струй, из которых и возникли планеты (1916 г.).

Гипотеза захвата Солнцем межзвездного газа. Ее предположил в 1942 г. шведский астрофизик Х. Альфен. Он считал, что атомы газа ионизировались при падении на Солнце и стали двигаться по орбитам в его магнитном поле, поступая в определенные участки экваториальной плоскости. Из их скоплений образовались небесные тела.

В 1944 г. академик-астрофизик В.Г. Фесенков предположил, что образование планет связано с переходом от одного типа ядерных реакций в глубинах Солнца к другому.

Согласно взглядам английского астрофизика О. Струве (40-е гг. XX в.), быстро вращающиеся звезды могут выбрасывать вещество в плоскости своих экваторов. В результате этого образуются газовые кольца и оболочки, а звезда теряет массу и момент количества движения.

Кометная гипотеза происхождения планет Солнечной системы. Эту гипотезу предложил А.А. Маркушевич (1992 г.). Сводится она к следующему. В газопылевой туманности, имеющей вид дискообразного вращающегося облака и состоящей из мелких пылевидных железосиликатных частиц и газов – воды и водорода, при понижении температуры газы намерзали на пылинки, увеличивая их размер. Возникал состав, свойственный составу комет. Частицы сталкивались между собой, большие по объему концентрировались в центре туманности, а меньшие оттеснялись на периферию, дав начало планетам. Шло укрепление и разрастание образующихся тел – астероидов, комет, планет. При образовании планет происходила аккреция (стяжение кометной массы), выделялась теплота, которая разогревала центр сгустка до расплавленного состояния и расслаивала водородную оболочку и железосиликатное ядро, которое позже расслоилось на железоникелевое ядро и силикатную оболочку, не позволявшую рассеиваться теплоте в космическом пространстве. Так планеты приобрели почти сферическую форму.

12.4.3. Солнце

Солнце, центральное тело солнечной системы – типичный жёлтый карлик. Его радиус около 700 тыс. км. Солнце – ближайшая к Земле звезда. Расстояние от Земли до Солнца 8,3 световой минуты или 149,6 млн км.

Солнце представляет собой плазменный шар со средней плотностью 1,4 г/см^3, окруженный так называемой короной, которую можно наблюдать. Но вещество распределено по объему Солнца неравномерно: внутри Солнца плотность его чрезвычайно высокая, а снаружи – крайне низкая, в сотни раз меньшая, чем воздух.

Масса Солнца огромна (~$2\cdot10^{30}$ кг), в нем сосредоточено 99,866 % массы Солнечной системы. Температура поверхности Солнца, 5770 K. Солнце вращается вокруг своей оси в том же направлении, что и Земля, и имеет магнитное поле.

Возраст Солнца 4-5 млрд лет. Ближайшие к Солнцу звезды – α-Центавра и Сириус. Солнечная система обращается вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с. Солнце совершает один оборот вокруг центра Галактики за 250 млн лет. Этот период называют галактическим годом.

Мощность излучения Солнца около $3{,}86\cdot10^{23}$ кВт. Источником энергии, пополняющим потери на излучение и поддерживающим высокую температуру Солнца, являются ядерные реакции превращения водорода в гелий, происходящие в недрах Солнца.

Солнце – не только источник света и тепла: его поверхность излучает потоки невидимых ультрафиолетовых и рентгеновых лучей, а также элементарных частиц, поэтому оказывает заметное влияние не только на такие природные процессы, как погода, земной магнетизм, но и на биосферу, включающую животный и растительный мир Земли, в том числе и человека.

История телескопических исследований Солнца начинается с наблюдений, выполненных Г. Галилеем в 1611 году; были открыты солнечные пятна, определён период вращения Солнца вокруг своей оси. В 1843 году немецкий астроном Г. Швабе обнаружил цикличность солнечной активности. Развитие методов спектрального анализа позволило изучить физические условия на Солнце. В 1814 году Й. Фраунгофер обнаружил тёмные линии поглощения в спектре Солнца – это положило начало изучению химического состава Солнца.

С 1836 года регулярно ведутся наблюдения затмений Солнца, что привело к обнаружению короны и хромосферы Солнца, а также солнечных протуберанцев. В 1913 году было доказано существование магнитного поля Солнца. В начале 40-х годов XX века было открыто радиоизлучение Солнца. Существенным толчком для развития физики Солнца во второй половине XX века послужило развитие магнитной гидродинамики и физики плазмы. После начала космической эры изучение ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца ведётся методами внеатмосферной ас-

трономии с помощью ракет, автоматических орбитальных обсерваторий на спутниках Земли, космических лабораторий с людьми на борту.

Исследования показали содержание водорода в Солнце по массе около 70 %, гелия около 27 %, содержание всех остальных элементов около 2,5 %. Более 70 химических элементов, найденных на Солнце, присутствуют в составе планет Солнечной системы, что доказывает единое происхождения Солнца и планет солнечной системы.

На основании проведенных исследований сделаны выводы о строении Солнца. Полагают, что Солнце состоит из нескольких слоев – внутренних и внешних. К внутренним слоям относятся *ядро, область лучистого переноса энергии* и *конвективная зона.* Внешние слои образует *атмосфера.*

Ядро находится в центре Солнца. Его радиус составляет 1/3 солнечного радиуса. В ядре сосредоточена большая часть вещества Солнца. Температура вещества в центре Солнца превышает 10 млн К. В условиях сверхдавления и сверхвысокой температуры вещество ядра ионизировано, то есть представляет собой плазму. Частицы плазмы находятся в постоянном движении, скорость которого огромна. Поэтому между частицами непрерывно происходят ядерные реакции, в результате которых из атомов водорода образуются атомы гелия и выделяется большое количество энергии. Например:

$$_1H^2 + {}_1H^1 = {}_2He^3$$

$$2\,{}_2He^3 = {}_2He^4 + 2\,{}_1H^1 + \text{энергия}$$

Водородные ядерные реакции – источник солнечной энергии. За время своего существования Солнце не израсходовало еще и половины запасов водородного ядерного топлива. В течение почти всего этого времени излучение Солнца почти такое же, как и теперь. Так оно и будет светить миллиарды лет, пока в недрах Солнца весь водород не превратится в гелий.

Область лучистого переноса энергии следует за ядром. Полагают, что её толщина примерно равна радиусу ядра. Здесь в результате поглощения квантов, их дробления и переизлучения энергия переносится наружу.

Выше находится *конвективная зона* толщиной примерно 200 тыс. км. Температура в конвективной зоне уже значительно ниже. Конвективная зона не может полностью передать огромное количество энергии, поэтому систематически ядерное вещество прорывается в наружные слои таким образом, что конвекция на Солнце напоминает кипение воды. Эта зона переходит во внешние слои Солнца – атмосферу. Солнечная *атмосфера* также состоит из нескольких слоев: *фотосферы, хромосферы* и *короны.*

Фотосфера – самый глубокий и тонкий слой атмосферы. Здесь возникает подавляющее количество световых и тепловых лучей, посылаемых в пространство. Толщина фотосферы 200–300 км, ее температура около 6000 К. За фотосферой следует *хромосфера* – слой раскаленных газов толщиной

10–20 тыс. км. Поскольку в верхних слоях солнечной атмосферы световая энергия в значительной степени переходит в тепловую, температура хромосферы значительно выше температуры фотосферы и оценивается в десятки тысяч Кельвинов.

Корона – внешняя часть атмосферы Солнца. Температура в этой части Солнца – более 1 млн. K. В короне плазма очень сильно разрежена, плотность ее в миллиарды раз меньше плотности воздуха. Поэтому корона еще прозрачна, чем хромосфера, и количество излучаемого ею света очень мало. Яркость короны в миллионы раз меньше яркости фотосферы. Температура по мере удаления от поверхности Солнца уменьшается.

Солнечная корона имеет огромные размеры – более 200 радиусов Солнца – и достигает орбиты Марса. Таким образом, Земля оказывается, образно говоря, погруженной в солнечную корону. В этой связи на Землю постоянно воздействует так называемый *солнечный ветер* – поток заряженных частиц, испускаемых Солнцем. При соприкосновении с атмосферой Земли он отклоняется верхними ее слоями – ионосферой. Хотя внешние слои солнечной атмосферы имеют температуру более 1 млн. K, их излучение составляет ничтожную долю от общей энергии, испускаемой Солнцем. Почти вся энергия исходит от фотосферы, имеющей температуру около 6000 K.

Периодически, с циклом в среднем около 11 лет, в солнечной атмосфере появляются активные области, число которых регулярно меняется. О возникновении активной области свидетельствуют *солнечные пятна,* наблюдаемые в фотосфере. Температура пятна примерно на 1000 K ниже температуры окружающей фотосферы. В активной области часто наблюдаются *вспышки,* яркость которых высока. В результате вспышек образуются направленные потоки очень быстрых заряженных частиц и космических лучей. Достигая Земли, этот поток вызывает заметные неправильные изменения магнитного поля Земли – так называемые магнитные бури. Причина периодичности солнечной активности пока неясна. Предполагают, что строение Солнца и процессы, происходящие в нем, могут быть типичными и для многих других звезд.

12.4.4. Планеты Солнечной системы

Крупнейшими после Солнца объектами Солнечной системы являются планеты и их спутники. Общая масса планет составляет 448 масс Земли, а спутников – 0,12 массы Земли. Суммарная масса планет и спутников составляет лишь 1/750 часть массы Солнца. По своим физическим характеристикам планеты Солнечной системы достаточно сильно отличаются друг от друга, поэтому их делят на две группы: планеты земной группы и газовые (или планеты-гиганты).

Планеты Земной группы. Планеты Земной группы сравнительно невелики, медленно вращаются вокруг своих осей (сутки на Меркурии длятся около 60 земных суток, на Венере – 243 дня). Ось вращения Венеры наклонена в другую сторону, и вращается Венера в направлении, обратном ее движению вокруг Солнца. У этих планет мало спутников (у Меркурия и Венеры нет, у Земли – один, у Марса – два совсем небольших).

У Меркурия атмосферы практически нет, Венера имеет очень плотную, состоящую в основном из углекислого газа атмосферу, пропускающую солнечное излучение и не выпускающую его обратно. Поэтому на Венере действует парниковый эффект, который сейчас отмечается и на Земле. В результате этого эффекта температура поверхности Венеры составляет около 500ºС. У Земли плотная азотно-кислородная атмосфера. Атмосфера Марса состоит в основном из CO_2, однако она сильно разрежена (давление в 150 раз меньше, чем давление на поверхности Земли).

Поверхность планет Земной группы твердая, гористая, она хорошо изучена благодаря автоматическим станциям, пролетавшим вблизи планет и осуществившими посадку на поверхности Марса и Венеры. Следует отметить, что в Солнечной Системе лишь планеты Земной группы имеют твердую поверхность. Химический состав планет Земной группы приблизительно одинаков. Они, в основном, состоят из соединений кремния и железа. В небольшом количестве присутствуют и другие элементы.

Более или менее одинаково и строение планет земной группы. В центре планет есть железные ядра разной массы. У Меркурия, Земли, Марса часть его находится в жидком состоянии. Выше ядра находится слой, который называют мантией. Верхний слой мантии называется корой. У этих планет есть магнитные поля: почти незаметное у Венеры и ощутимое у Земли. Меркурий и Марс обладают магнитными полями средней напряженности.

Планеты Земной группы отделены от планет-гигантов поясом астероидов – малых планет. Самая крупная из них – Церера, была открыта первой, в начале 19 века. Сейчас зарегистрировано более 5500 малых планет. Все они движутся вокруг Солнца в том же направлении, что и большие планеты, однако их орбиты вытянуты значительно сильнее.

Планеты-гиганты. Они располагаются за орбитой Марса. Это Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Их особенность – большие размеры и масса. Например, радиус Юпитера в 11 раз больше земного, а масса в 318 раз больше земной. Самый легкий гигант – Уран – в 14,5 раза массивнее Земли.

Планеты-гиганты имеют малую плотность. В среднем их плотность в 3-7 раз уступает плотности планет земной группы. Самая низкая плотность у Сатурна – $0{,}7 \cdot 10^3$ кг/м^3.

У планет-гигантов нет твердой поверхности. Газы их обширных атмосфер, уплотняясь с приближением к центру, постепенно переходят в жидкое состояние. Причем плотность жидкости тоже увеличивается к центру

планеты. По-видимому, в недрах планет-гигантов, где давление и температура очень высокие, есть слой водорода, обладающего металлическими свойствами. Это необычное вещество не является в полной мере ни газообразным, ни твердым. Но оно обладает важным свойством – проводит ток. Благодаря этому, планеты-гиганты обладают магнитным полем. Магнитные поля планет-гигантов превосходят магнитные поля планет земной группы. Интенсивность магнитного поля качественно определяется размерами магнитосферы планеты: пространства вокруг нее, в котором магнитное поле планеты сильнее солнечного. Влияние солнечного ветра – потока заряженных частиц, вырывающихся с поверхности Солнца, – делает очертания магнитосфер несимметричными. Магнитные поля захватывают летящие от Солнца зараженные частицы высоких энергий, формируя мощные радиационные пояса и полярные сияния.

Сами гиганты и их атмосферы состоят из легких элементов: водорода и гелия. Уран и Нептун в значительной степени содержат в себе метан, аммиак, воду и другие не слишком тяжелые соединения. Другие элементы тоже есть, но их гораздо меньше. Ученые выяснили, что с увеличением массы гиганта растет и его атмосфера. Следовательно, самой обширной атмосферой обладает Юпитер. Уран и Нептун, близкие по массе, мало отличаются и своими атмосферами. Сатурн занимает промежуточное положение.

Планеты-гиганты быстро совершают один оборот вокруг своей оси (10-18 часов). Причем, они вращаются как бы слоями: слой планеты, расположенный вблизи экватора, вращается быстрее всего, а самое медленное вращение присуще околополярным областям. Такое необычное вращение обусловлено тем, что, как уже было сказано выше, планеты-гиганты – это жидкие планеты. По той же причине гиганты сжаты у полюсов, что можно заметить в простой телескоп.

Планеты-гиганты окружены естественными спутниками Точное их число еще не известно. Из известных 68-ми спутников только три принадлежат планетам земной группы. У Сатурна открыто 18 спутников, у Урана – 21, у Юпитера – 17, у Нептуна – 8. Кроме спутников, планеты-гиганты имеют *кольца* – скопления мелких частиц, вращающихся вокруг планет и собравшихся вблизи плоскости их экваторов. Наиболее крупными обладает Сатурн – они были обнаружены еще в 17 веке.

12.4.5. Кометы, астероиды, метеорное вещество

Помимо 9 крупных спутников (планет) Солнце имеет множество мелких спутников, называемых *астероидами*. Большинство из них находится в поясе астероидов, между орбитами Марса и Юпитера. Есть также группа астероидов (Троянцы и Греки), движущаяся вдоль орбиты Юпитера, и другие группы. Всего в астрономических каталогах зафиксировано более 6000 малых планет.

Астероиды, называемые также малыми планетами, не имеют правильной формы и по химическому составу близки к планетам земной группы. Орбиты астероидов образуют различные углы с плоскостью эклиптики, и заметно вытянуты. Все известные астероиды вращаются вокруг Солнца в прямом направлении. За орбитой Нептуна, как позволяют судить последние наблюдения, тоже находится пояс астероидов. Орбита планеты Плутон, видимо, уже проходит внутри этого пояса.

Кроме астероидов, движущихся по орбитам, подобным орбитам планет, Солнечную систему пересекают *кометы*. Орбиты комет одним краем приближены к Солнцу, другим удалены от него, иногда на очень значительные расстояния. Например, орбита кометы Когоутека с периодом обращения 75 000 лет выходит далеко за пределы орбиты Плутона.

По современным гипотезам, кометы представляют собой огромные глыбы, состоящие из смеси замерзших газов и пыли (грязные снежки). Приближаясь к Солнцу, кометы прогреваются, и с их поверхности начинают испаряться газы, которые светятся под действием солнечного излучения. Солнечный ветер отбрасывает испарившиеся частицы, образуя так называемые кометные хвосты, направленные от Солнца. Как и астероиды, кометы обладают малыми размерами и массами. Их орбиты могут быть самыми различными: иметь всевозможные эксцентриситеты, наклоны к плоскости эклиптики. Кометы могут двигаться вокруг Солнца, как в прямом, так и в обратном направлении.

Ежегодно в августе Земля проходит через полосу пыли, оставшуюся от кометы Свифта-Тутля, и в эти периоды можно наблюдать метеоритные дожди, называемые Персеидами. Землю ежесекундно бомбардируют тысячи *метеоритов* – обломков космических тел. Однако большинство из них сгорает в атмосфере, не достигая поверхности Земли. Крупные метеориты могут взрываться, оставляя кратеры на земной поверхности.

12.5. Планета Земля

12.5.1. Размеры, форма и внутреннее строение Земли

Особое место в Солнечной системе занимает Земля – единственная планета, на которой в течение миллиардов лет развиваются различные формы жизни

В IV в. до н.э. древнегреческий ученый Аристотель заметил, что тень от Земли на Луне, наблюдаемая во время лунных затмений, всегда имеет одинаковую круглую форму. Он предположил, что Земля, как Луна и Солнце, является шарообразным телом. Но Земля – не идеальный шар, она сплюснута у полюсов и расширена к экватору. Такое геометрическое тело называется *сфероидом,* или *эллипсоидом вращения.* Полярный радиус Земли составляет 6357 км, а экваториальный – 6378 км, то есть больше поляр-

ного на 21 км (рис. 12.3). Масса Земли $5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг. движется в космическом пространстве по эллиптической траектории вокруг Солнца со средней скоростью около 30 км/с.

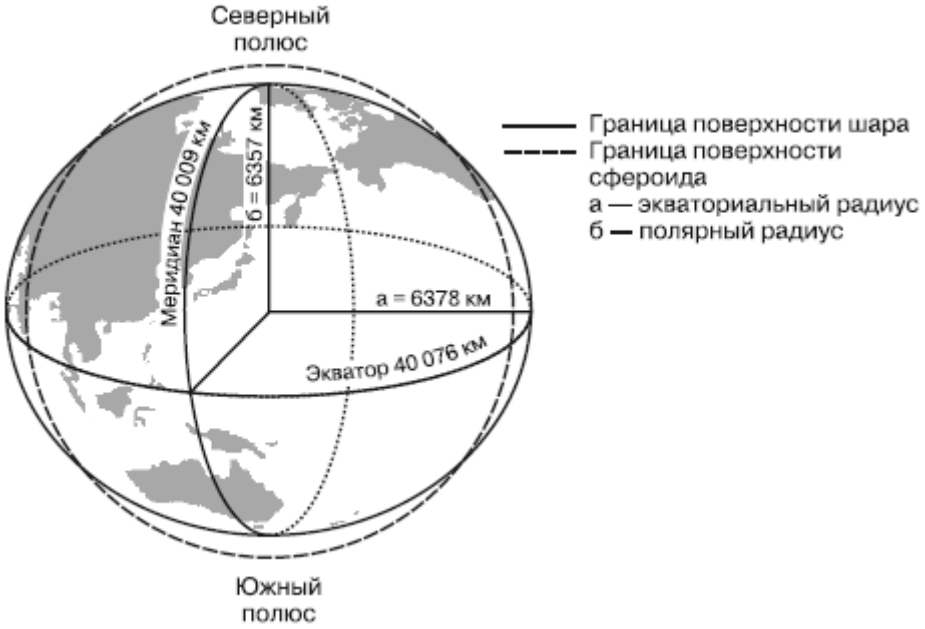


Рис. 12.3

Земля вращается вокруг своей оси, наклоненной к плоскости орбиты под углом $66^{\circ}34'$, и делает полный оборот за 24 часа.

Земная ось – это воображаемая прямая, проходящая через центр Земли. Две точки, через которые проходит ось Земли, называются полюсами. Их два – Северный и Южный.

По оценкам учёных формирование средний возраст Земли – 5-6 млрд лет.

Земля состоит из земной коры, мантии и ядра. Верхняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю часть мантии, называется *литосферой* (от греч. *lithos* – камень и *sphaire* – шар). Её толщина составляет от 70 до 250 км.

Земная кора – верхняя часть литосферы – тоже не везде имеет одинаковую толщину. Различают два основных типа земной коры: материковый и океанический. Под океанами нижняя граница земной коры уходит на глубину 5-10 км, под равнинами – на 35-45 км, а под горными массивами – до 70 км.

Слои земной коры состоят из горных пород и минералов.

Мантия – самая массивная часть Земли, составляющая около 83 % её объёма. Она располагается под земной корой, ближе к центру Земли и имеет толщину почти 3000 км. Внутри мантии, на глубине 100-250 км под континентами и 50-100 км под океанами, находится слой повышенной пластичности вещества, так называемая *астеносфера.* Ученые предполагают, что мантия состоит из магния, железа и кремния и имеет очень высокую температуру – до 2000 С.

В астеносфере в горизонтальном направлении перемещаются крупные плиты, из которых состоит литосфера. На границах плит находятся сейсмические, тектонически активные зоны разломов.

Мантия – твёрдое образование, поскольку её вещество находится под огромным давлением. Как только давление уменьшается, твёрдые породы расплавляются, и образуется жидкая раскалённая масса – *магма*. В местах разломов она прорывается наружу. Так возникает вулканическое извержение.

Установлено, что температура горных пород с глубиной возрастает: в среднем на 1°С на каждые 33 м в глубь Земли. Увеличение температуры происходит главным образом за счет распада радиоактивных элементов, входящих в состав земного ядра

Ядро – самая глубинная часть Земли. Его радиус – около 3,5 тыс. км. Оно состоит из внешней оболочки в жидком состоянии и внутреннего твёрдого субъядра. Температура в центре ядра – примерно 5000°С, плотность вещества ядра – $12{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3. Химический состав субъядра: железо – 80 %, никель – 20 %; внешней оболочки: железо – 52 %, смесь железа с серой – 48 %. Согласно одной из гипотез, в результате циркуляции потоков расплавленных металлов во внешней оболочке ядра возникает магнитное поле Земли.

Вопросы для самоконтроля

1. Что изучают астрономия, космология?
2. Какие единицы измерения расстояний используются в астрономии?
3. В чем сущность космологической модели расширяющейся Вселенной?
4. Сформулируйте закон Хаббла.
5. Как, предположительно, произошел Большой Взрыв Вселенной?
6. Какова природа реликтового излучения?
7. В чем заключается сущность антропного принципа?
8. Каково среднее расстояние между галактиками?
9. Что такое квазары?
10. Как классифицируются галактики? Каково строение нашей Галактики?
11. Каков химический состав звезд и каким образом он определяется?
12. Как характеризуется интенсивность блеска звезд?
13. На какие виды классифицируются звезды?
14. Каково строение Солнца?
15. Какие процессы являются источником солнечной энергии?
16. Охарактеризуйте гипотезы возникновения Солнечной системы.
17. Дайте общую характеристику планетам Солнечной системы.
18. Чему равен радиус Земли? Насколько экваториальный радиус Земли длиннее полярного?
19. Как называется оболочка Земли, состоящая из земной коры и верхней части мантии?
20. Назовите три слоя, составляющие материковую земную кору.

13. ЖИВАЯ МАТЕРИЯ

13.1. Признаки живого вещества

Наиболее существенными признаками живого вещества являются:

1. *Питание.* Оно служит для живых организмов источником энергии и веществ. Растения (автотрофы) усваивают энергию непосредственно, через процесс фотосинтеза. Животные и грибы (гетеротрофы) через расщепление чужой органики.

2. *Дыхание.* Одной из основных его функций является освобождение энергии при расщеплении высокоэнергетических соединений. Высвобождаемая при этом энергия запасается в молекулах аденозинтрифосфорной кислоты.

3. *Раздражимость* является способностью реагировать на изменение внешней и внутренней среды.

4. *Подвижность* – общий приспособительный элемент адаптационного поведения, чаще всего выраженный в изменении пространственных координат.

5. *Выделение* является выведением из организма конечных продуктов обмена веществ.

6. *Размножение.* Его эволюционная роль заключается в сохранении главных признаков родителей у потомства.

7. *Рост* – один из наименее специализированных признаков живого вещества. Он характерен и для неживой материи, например, кристалл, но и здесь существуют различия. Так кристалл растёт «снаружи», присоединяя новое вещество к поверхности, а живое растёт «изнутри».

13.2. Концепции происхождения жизни на Земле

Вопрос происхождения жизни на Земле – один из самых сложных вопросов современного естествознания, на который до настоящего времени нет однозначного ответа.

Существует несколько теорий происхождения жизни на Земле, наиболее известные из которых:

1) теория креационизма (или сотворения);
2) теория самопроизвольного (спонтанного) зарождения;
3) теория стационарного состояния;
4) теория панспермии;
5) теория биохимической эволюции (теория А.И. Опарина).

Креационизм (лат. *crea* – создание). Согласно этой концепции, жизнь и все населяющие Землю виды живых существ являются результатом творческого акта сверхъестественного существа в какое-то определенное вре-

мя. Основные положения креационизма изложены в Библии, в Книге Бытия. Процесс божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для наблюдения. Этого достаточно, чтобы вынести всю концепцию божественного сотворения за рамки научного исследования. Наука занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению, а поэтому она никогда не будет в состоянии ни доказать, ни отвергнуть эту концепцию.

Самопроизвольное (спонтанное) зарождение. Идеи происхождения живых существ из неживой материи были распространены в Древнем Китае, Вавилоне, Египте. Крупнейший философ Древней Греции Аристотель высказал мысль о том, что определенные «частицы» вещества содержат некое «активное начало», которое при подходящих условиях может создать живой организм. Голландский врач и натурфилософ Ван Гельмонт (1579-1644) описал эксперимент, в котором он за три недели якобы создал мышей. Для этого нужны были грязная рубашка, темный шкаф и горсть пшеницы. Активным началом в процессе зарождения мыши Ван Гельмонт считал человеческий пот. В XVII-XVIII веках благодаря успехам в изучении низших организмов, оплодотворения и развития животных, а также наблюдениям и экспериментам итальянского естествоиспытателя Ф. Реди (1626-1697), голландского микроскописта А. Левенгука (1632-1723), итальянского ученого Л. Спалланцани (1729-1799), русского микроскописта М.М. Тереховского (1740-1796) и других вера в самопроизвольное зарождение была основательно подорвана. Однако вплоть до появления работ основоположника микробиологии Луи Пастера это учение продолжало находить приверженцев. Развитие идеи самозарождения относится, по существу, к той эпохе, когда в общественном сознании господствовали религиозные представления. Те философы и натуралисты, которые не хотели принимать церковного учения о «сотворении жизни», при тогдашнем уровне знаний легко приходили к идее ее самозарождения. В той мере, в какой, в противовес вере в сотворение, подчеркивалась мысль о естественном возникновении организмов, идея самозарождения имела на определенном этапе прогрессивное значение. Поэтому против этой идеи часто выступали Церковь и теологи.

Концепция стационарного состояния. Согласно этой концепции жизнь никогда не возникала, а существовала вечно вместе с Землей, отличаясь большим разнообразием живого. С изменением условий жизни на Земле происходило и изменение видов: одни исчезали, другие появлялись. Эта концепция основывается в основном на исследованиях палеонтологии. По своей сущности она не относится к концепциям возникновения жизни, поскольку вопрос о происхождении жизни она принципиально не затрагивает.

Концепция панспермии. Согласно этой гипотезе, предложенной в 1865 г. немецким ученым Г. Рихтером и окончательно сформулированной

шведским ученым Аррениусом в 1895 г., жизнь могла быть занесена на Землю из космоса. Наиболее вероятно попадание живых организмов внеземного происхождения с метеоритами и космической пылью. Это предположение основывается на данных о высокой устойчивости некоторых организмов и их спор к радиации, глубокому вакууму, низким температурам и другим воздействиям. Однако до сих пор нет достоверных фактов, подтверждающих внеземное происхождение микроорганизмов, найденных в метеоритах. Но если бы даже они попали на Землю и дали начало жизни на нашей планете, вопрос об изначальном возникновении жизни оставался бы без ответа.

Гипотеза биохимической эволюции. В 1924 г. русским биохимиком А.И. Опариным, а позднее английским ученым Дж. Холдейном (1929 г.) была сформулировала гипотеза, рассматривающая жизнь как результат длительной эволюции углеродных соединений.

Современная теория возникновения жизни на Земле, называемая *теорией биопоэза*, была сформулирована в 1947 г. английским ученым Дж. Берналом. В настоящее время в процессе становления жизни условно выделяют четыре этапа:

1. Синтез низкомолекулярных органических соединений (биологических мономеров) из газов первичной атмосферы.
2. Образование биологических полимеров.
3. Формирование фазообособленных систем органических веществ, отделенных от внешней среды мембранами (протобионтов).
4. Возникновение простейших клеток, обладающих свойствами живого, в том числе репродуктивным аппаратом, обеспечивающим передачу дочерним клеткам свойств клеток родительских.

Первые три этапа относят к периоду химической эволюции, а с четвертого начинается эволюция биологическая.

Рассмотрим более подробно процессы, в результате которых на Земле могла возникнуть жизнь. Согласно современным представлениям, Земля сформировалась около 4,6 млрд лет назад. Температура ее поверхности была очень высокой (4000-8000 °С), и по мере остывания планеты и действия гравитационных сил происходило образование земной коры из соединений различных элементов. Процессы дегазации привели к созданию атмосферы, обогащенной, возможно, азотом, аммиаком, парами воды, углекислым и угарным газами. Такая атмосфера была, восстановительной, о чем свидетельствует наличие в самых древних горных породах Земли металлов в восстановленной форме, таких, как, например, двухвалентное железо. Важно отметить при этом, что в атмосфере имелись атомы водорода, углерода и азота, составляющие 99 % атомов, входящих в мягкие ткани любого живого организма. Однако чтобы атомы превратились в сложные молекулы, простых столкновений их было недостаточно. Нужна была до-

полнительная энергия, которая имелась на Земле как результат вулканической деятельности, электрических грозовых разрядов, радиоактивности, ультрафиолетового излучения Солнца. Отсутствие свободного кислорода было, вероятно, недостаточным условием для возникновения жизни. Если бы свободный кислород присутствовал на Земле в добиотический период, то, с одной стороны, он окислял бы синтезирующиеся органические вещества, а с другой – образуя озоновый слой в верхних слоях атмосферы, поглощал бы высокоэнергетическое ультрафиолетовое излучение Солнца. В рассматриваемый период возникновения жизни, длившийся примерно 1000 млн лет, ультрафиолет был, вероятно, основным источником энергии для синтеза органических веществ. Из водорода, азота и соединений углерода при наличии свободной энергии на Земле должны были возникать сначала простые молекулы (аммиак, метан и подобные простые соединения). В дальнейшем эти несложные молекулы в первичном океане могли вступать в реакции между собой и с другими веществами, образуя новые соединения. В 1953 году американский исследователь Стенли Миллер в ряде экспериментов моделировал условия, существовавшие на Земле приблизительно 4 млрд лет назад. Пропуская электрические разряды через смесь аммиака, метана, водорода и паров воды, он получил ряд аминокислот, альдегидов, молочную, уксусную и другие органические кислоты. Американский биохимик Сирил Поннаперума добился образования нуклеотидов и АТФ. В ходе таких и аналогичных им реакций воды первичного океана могли насыщаться различными веществами, образуя так называемый «первичный бульон».

Второй этап состоял в дальнейших превращениях органических веществ и образовании абиогенным путем более сложных органических соединений, в том числе и биологических полимеров. Американский химик С. Фокс составлял смеси аминокислот, подвергал их нагреванию и получал протеиподобные вещества. На первобытной земле синтез белка мог проходить на поверхности земной коры. В небольших углублениях в застывающей лаве возникали водоемы, содержащие растворенные в воде малые молекулы, в том числе и аминокислоты. Когда вода испарялась или выплескивалась на горячие камни, аминокислоты вступали в реакцию, образуя протеноиды. Затем дожди смывали протеноиды в воду. Если некоторые из этих протеноидов обладали каталитической активностью, то мог начаться синтез полимеров, т. е. белковоподобных молекул.

Третий этап характеризовался выделением в первичном «питательном бульоне» особых *коацерватных капель*, представляющих собой группы полимерных соединений. В ряде опытов было показано, что образование коацерватных суспензий, или микросфер, типично для многих биологических полимеров в растворе. Коацерватные капли обладают некоторыми свойствами, характерными и для живой протоплазмы. Например, они мо-

гут избирательно адсорбировать вещества из окружающего раствора и за счет этого «расти», увеличивать свои размеры. Благодаря тому, что концентрация веществ в коацерватных каплях была в десятки раз больше, чем в окружающем растворе, возможность взаимодействия между отдельными молекулами значительно возрастала. Известно, что молекулы многих веществ, в частности полипептидов и жиров, состоят из частей, обладающих разным отношением к воде. Гидрофильные части молекул, расположенные на границе между коацерватами и раствором, поворачиваются в сторону раствора, где содержание воды больше. Гидрофобные части ориентируются внутрь коацерватов, где концентрация воды меньше. В результате поверхность коацерватов приобретала определенную структуру и в связи с этим свойство пропускать в определенном направлении одни вещества и не пропускать другие. Благодаря этому свойству концентрация некоторых веществ внутри коацерватов еще больше возрастала, концентрация других уменьшалась, и реакции между компонентами коацерватов приобретали определенную направленность. Коацерватные капли стали системами, обособленными от среды. Возникли протоклетки, или *протобионты*. Важным этапом химической эволюции явилось образование мембранной структуры. Параллельно с появлением мембраны шло упорядочение и усовершенствование метаболизма. В дальнейшем усложнении обмена веществ в таких системах существенную роль должны были играть катализаторы. Одним из основных признаков живого является способность к репликации, т. е. созданию копий, не отличаемых от материнских молекул. Таким свойством обладают нуклеиновые кислоты, которые в отличие от белков способны к репликации. В коацерватах мог образовываться протеноид, способный катализировать полимеризацию нуклеотидов с образованием коротких цепочек РНК. Эти цепочки могли выполнять роль как примитивного гена, так и информационной РНК. В этом процессе не участвовали еще ни ДНК, ни рибосомы, ни транспортные РНК, ни ферменты белкового синтеза. Все они появились позже. Уже на стадии формирования протобионтов имел место, вероятно, естественный отбор, т. е. сохранение одних форм и гибель других. Так прогрессивные изменения в структуре протобионтов закреплялись благодаря отбору. Появление структур, способных к самовоспроизведению, репликации, изменчивости определяет четвертый этап становления жизни.

Итак, в позднем архее (приблизительно 3,5 млрд. лет назад) на дне небольших водоемов или мелководных, теплых и богатых питательными веществами морей возникли первые примитивные живые организмы, которые по типу питания были гетеротрофами, т. е. питались готовыми органическими веществами, синтезированными в ходе химической эволюции. Способом обмена веществ им служило, вероятно, брожение – процесс ферментативного превращения органических веществ, в котором акцепто-

рами электронов служат другие органические вещества. Часть энергии, выделяемой в этих процессах, запасается в виде АТФ. Возможно, некоторые организмы для жизненных процессов использовали и энергию окислительно-восстановительных реакций, т.е. были хемосинтетиками. Со временем происходило уменьшение запасов свободной органики в окружающей среде, и преимущество получили организмы, способные синтезировать органические соединения из неорганических. Таким путем, вероятно, около 2 млрд лет назад возникли первые фототрофные организмы типа цианобактерий, способные использовать световую энергию для синтеза органических соединений из CO_2 и H_2O выделяя при этом свободный кислород. Переход к автотрофному питанию имел большое значение для эволюции жизни на Земле не только с точки зрения создания запасов органического вещества, но и для насыщения атмосферы кислородом. При этом атмосфера стала приобретать окислительный характер. Появление озонового слоя защитило первичные организмы от губительного воздействия ультрафиолетовых лучей и положило конец абиогенному (небиологическому) синтезу органических веществ. Таковы современные научные представления об основных этапах происхождения и становления жизни в Земле.

13.3. Теории эволюции органического мира

Применительно к живым организмам эволюцию определяют как развитие сложных организмов из предшествующих, более простых организмов с течением времени.

Впервые мысль о постепенном совершенствовании живых организмов была высказана в XVIII веке французским натуралистом Ж.Бюффоном (1707-1788). Последователь и соотечественник Бюффона Жан Батист Ламарк (1744-1829) впервые попытался создать стройную теорию эволюции жизни на Земле. *Основным фактором эволюции Ламарк считал упражнение одних органов и пассивность других.* Ламарк рассуждал так: если орган упражняется, то он постепенно усиливается, а если не упражняется, то ослабевает и отмирает. На первый взгляд всё ясно. Действительно, сравнивая гимнаста с человеком, не занимающимся спортом, нельзя не отметить, что у первого мышцы упругие и эластичные, а у второго дряблые и под кожей изрядный слой жира. Совершенно понятно, что первый достиг упругости мышц путём упражнения. Проследим теперь за их детьми. Если и те и другие пойдут по стопам своих отцов, то различия между ними будут такими же. А если и те и другие одновременно начнут заниматься спортом у одного и того же тренера с равным прилежанием. Можно ли тогда утверждать, что в таком случае дети гимнаста добьются лучших спортивных результатов? Другими словами: передаются ли детям те признаки, которые у роди-

телей выработались путём упражнений или приспособления к внешним условиям?

Ламарк считал, что обязательно передаются. Например, он утверждал, что длина шеи и ног у жирафа – результат того, что многие поколения его некогда коротконогих и короткошеих предков питались листьями деревьев, за которыми им приходилось тянуться всё выше и выше. Небольшое удлинение шеи и ног, происходящее в каждом поколении, передавалось следующему поколению, пока эти части тела не достигли своей нынешней длины.

Ламарк впервые выделил два самых общих направления эволюции:

1) восходящее развитие от простейших форм жизни к всё более сложным и совершенным;

2) формирование у организмов приспособлений в зависимости от изменений внешней среды.

Ламарк был первым, кто предложил развернутую концепцию трансформизма – изменяемости видов. Однако взгляды Ламарка, изложенные им в 1809 году в труде «Философия зоологии», не нашли признания у современников.

Большей популярностью пользовались воззрения его соотечественника Жоржа Кювье (1769-1832). *Кювье исходил из того, что все органы в организме взаимообусловлены и соотнесены.* Например, рассмотрим травоядное животное. Растительная пища мало питательна, для удовлетворения потребностей организма её необходимо большое количество. Значит, желудок травоядного должен быть большим. Размер желудка обуславливает размеры других внутренних органов: позвоночника, грудной клетки. Массивное тело может держаться на мощных ногах, снабжённых твёрдыми копытами, а длина ног обуславливает длину шеи, чтобы животное могло свободно щипать траву. Другое дело хищники. Пища у них более питательна, значит, желудок может быть небольшим. Хищнику нужны мягкие лапы с когтистыми подвижными пальцами, чтобы незаметно подкрадываться к добыче и хватать её. Шея у хищника должна быть короткой, а зубы – острыми. Свой метод Кювье довёл до такого совершенства, что нередко по одному найденному зубу ему удавалось восстановить облик всего животного. Так Кювье открыл целый мир ископаемых животных – гигантских ящеров, мамонтов, мастодонтов.

Изучая вымерших животных, он заметил, что останки одного из видов относятся к одним и тем же геологическим напластованиям и не встречаются в смежных. Поэтому он сделал вывод, что животные, некогда населявшие нашу планету, погибали почти мгновенно от каких-то неизвестных причин, а позднее на их месте появились новые обитатели, не имевшие ничего общего со своими предшественниками.

В работе «Рассуждение о переворотах на поверхности земного шара» Кювье писал: «Жизнь не раз потрясала на нашей Земле страшными событиями. Бесчисленные живые существа становились жертвой катастроф: одни, обитатели суши, были поглощены потопами, другие, населявшие недра вод, оказывались на суше вместе с внезапно приподнятым дном моря, сами их расы навеки исчезли, оставив на свете лишь немногие остатки, едва различимые для натуралистов».

Кювье предложил теорию катастрофизма, в основе которой лежат следующие принципы:

1) принцип коренных качественных изменений органического мира в результате катастроф;

2) принцип прогрессивного восхождения органических форм после очередной катастрофы.

В основе *катастрофизма* – допущение существования скачков, разрывов постепенности в развитии между катастрофами.

На иных позициях стоит теория *униформизма* (Чарльз Лайель, М.В.Ломоносов), согласно которой развитие представляется следующим образом: медленные, незначительные изменения на Земле могут привести к поразительным результатам, если будут происходить достаточно долго и в одном направлении. Лайель отметил, что многие организмы, обитавшие на Земле во время третичного периода, встречаются и сейчас. Поэтому он сделал вывод, что в разное время появлялись новые виды и доживали свой век старые.

Теория униформизма опирается на:

1) однообразие и неизменность действующих факторов и законов природы;

2) отсутствие скачков в истории Земли;

3) суммирование незначительных отклонений в развитии за большие промежутки времени;

4) отрицание прогресса в развитии.

Эволюционная теория Ч.Дарвина. Эволюционная теория была сформулирована Чарльзом Робертом Дарвиным в 1859 году в его работе «Происхождение видов путём естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» на основе предшествующего эмпирического материала и наблюдений в ходе кругосветного путешествия на военном корабле «Бигль» (с 1831 по октябрь 1836 года). В центре представлений Дарвина об эволюции органического мира стоит понятие вида. *Вид* объединяет организмы, сходные по морфологическим признакам, имеющие общее происхождение, способные свободно скрещиваться между собой и давать плодовитое потомство. Каждый вид характеризуется определенным ареалом – территорией обитания. Внутри ареала могут быть самые разнообразные преграды (реки, горы, пустыни), которые препятствуют

свободному скрещиванию между группами особей одного и того же вида. Это, однако, не означает, что они абсолютно изолированы и не обмениваются генами. Просто скрещивание между представителями этих групп осуществляется значительно реже. Такие относительно изолированные группы особей одного вида называются *популяциями.* Популяция представляет собой элементарную единицу эволюции. Дарвин раскрыл основные закономерности эволюции:

1) каждый вид способен к неограниченному размножению;

2) ограниченность жизненных ресурсов препятствует реализации потенциальной возможности беспредельного размножения. Большая часть особей гибнет в борьбе за существование и не оставляет потомства;

3) гибель или успех в борьбе за существование носят избирательный характер. Организмы одного вида отличаются друг от друга совокупностью признаков. В природе выживают и оставляют потомство те особи, которые лучше приспособлены к данным условиям;

4) под действием естественного отбора группы особей накапливают различные приспособительные признаки, приобретают существенные отличия, превращаются в новые виды.

Дарвин считал, что движущими силами эволюции являются:

1. *Наследственная изменчивость* – способность организмов приобретать новые признаки и передавать их по наследству, лежащая в основе многообразия видов.

2. *Естественный отбор* – выживание наиболее приспособленных организмов, благодаря полезным индивидуальным признакам.

Естественный отбор в природе возникает в результате борьбы за существование. Под борьбой за существование Дарвин понимал совокупность взаимоотношений организмов одного вида друг с другом (внутривидовая борьба) и с другими видами организмов (межвидовая конкуренция). Естественный отбор выступает как неизбежный результат борьбы за существование и наследственной изменчивости организмов. Например, зайчонок в лесу может погибнуть от самых различных причин: под проливным дождём, его может поймать лиса или волк, его благополучие зависит от наличия поблизости съедобной травы или коры дерева. Всё это факторы отбора, которые «отсеивают» наименее приспособленных и оставляют самых крепких, быстрых, выносливых. В свою очередь, заяц выступает в качестве фактора отбора для хищников, которые должны поймать его на обед.

В процессе естественного отбора организмы адаптируются к условиям существования. Поскольку рождается больше особей, чем может выжить, происходит конкуренция за пищу и места обитания. Изменения, облегчающие организму выживание в определённой среде, дают своим обладателям преимущество перед другими организмами, менее приспособленными к внешним условиям. Эти хуже приспособленные организмы вымира-

ют. Выжившие особи дают потомство, и таким образом «удачные» положительные изменения передаются последующим поколениям. Совершенствование приспособлений у организмов приводит к постепенному усложнению уровня их организации – происходит эволюционный прогресс. Отбор называется естественным, поскольку его производит сама среда обитания. Естественный отбор отличается от искусственного, с помощью которого человеком создаются многочисленные породы и сорта домашних животных и растений.

13.4. Основные законы эволюции

Основные законы эволюции:

1. Скорость эволюции в разные периоды неодинакова и характеризуется тенденцией ускорения. В настоящее время она протекает быстро, и это отмечается появлением новых форм и вымиранием многих старых.

2. Эволюция различных организмов происходит с разной скоростью.

3. Новые виды образуются не из наиболее высокоразвитых и специализированных форм, а из относительно простых, неспециализированных форм.

4. Эволюция не всегда идет от простого к сложному. Существуют примеры «регрессивной» эволюции, когда сложная форма давала начало более простым (некоторые группы организмов, например, бактерии, сохранились только благодаря упрощению своей организации).

5. Эволюция затрагивает популяции, а не отдельные особи и происходит в результате мутаций, естественного отбора и дрейфа генов.

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

13.5. Современная (синтетическая) теория эволюции (СТЭ)

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

В ней элементарной единицей эволюции служит популяция, поскольку именно в ее рамках происходят наследственные изменения генофонда.

Кроме того, механизм эволюции стал рассматриваться как состоящий из двух частей:

1) случайные мутации на генетическом уровне;

2) наследование наиболее удачных с точки зрения приспособления к окружающей среде мутаций, т.к. их носители выживают и оставляют потомство.

Структурно СТЭ состоит из теорий микро- и макроэволюции.

Теория *микроэволюции* изучает необратимые преобразования генетико-экологической структуры популяции, которые могут привести к формированию нового вида. Реально вид существует в виде популяции. Именно популяция является *элементарной единицей эволюции*.

Теория *макроэволюции* изучает происхождение надвидовых таксонов (семейств, отрядов, классов и т.д.), основные направления и закономерности развития жизни на Земле в целом, включая возникновение жизни и происхождение человека как биологического вида.

Изменения, которые изучаются в рамках микроэволюции, доступны непосредственному наблюдению, тогда как макроэволюция происходит на протяжении длительного исторического периода времени и поэтому ее процесс может быть только реконструирован задним числом. Но макро- и микроэволюция происходят в конечном итоге под воздействием изменений в окружающей среде.

Сегодня биологами, изучающими микро- и макроэволюцию, накоплено достаточно материалов, которые можно систематизировать в виде основных положений СТЭ:

1. Главный движущий фактор эволюции – естественный отбор как следствие конкурентных отношений борьбы за существование, особенно острой внутри вида или популяции. Факторами видообразования являются также мутационный процесс (мутации разных типов), дрейф генов (генетико-автоматические процессы) и различные формы изоляции.

2. Эволюция протекает дивергентно (т.е. в сторону расхождения признаков), постепенно, через отбор мелких случайных мутаций. Новые формы могут образовываться через крупные наследственные изменения (сальтации). Их жизненность также определяется отбором.

3. Эволюционные изменения случайны и ненаправлены. Исходным материалом для эволюции являются мутации разного типа. Сложившаяся исходная организация популяции и последовательные изменения условий среды ограничивают и канализируют наследственные изменения в направлении неограниченного прогресса.

4. Макроэволюция, ведущая к образованию надвидовых групп, осуществляется через процессы микроэволюции и каких-либо особых механизмов возникновения новых форм жизни не имеет.

Согласно постулатам СТЭ, основными факторами эволюции являются:

Мутационный процесс, одновременно являющийся и поставщиком элементарного эволюционного материала. Но сам по себе этот фактор не способен оказывать направляющее воздействие на эволюционный процесс. Для этого нужен *второй фактор – популяционные волны*, или «волны жизни», – количественные колебания в численности популяций под воздействием различных причин – сезонной периодики, климатических, природно-

катастрофических и пр. Эволюционная роль «волн жизни» проявляется в двух планах. Во-первых, в изменении частот генов в популяциях, приводящем к снижению наследственной изменчивости. Процесс этот, названный американским генетиком С. Райтом «дрейфом генов», а Н.П. Дубининым – «генетико-автоматическим процессом», всегда имеет место при резком снижении численности популяции. Генотипически это сопровождается увеличением гомозиготности, что связано с увеличением числа близкородственных скрещиваний. Другое проявление «волн жизни» сводится к изменениям в концентрации различных мутаций, а также к уменьшению разнообразия генотипов, содержащихся в популяции. А это в свою очередь может привести к изменениям направленности и интенсивности действия отбора.

Третий элементарный эволюционный фактор – изоляция. Нарушая свободное скрещивание, изоляция закрепляет возникшие как случайно, так и под действием отбора различия в наборах и численности генотипов в изолированных частях популяции. Различают два типа изоляции: территориально-механическую, или пространственно-географическую, и биологическую или репродуктивную. Смысл первой ясен из названия. Биологическая же изоляция имеет пять форм: этологическую (различия в поведении особей), экологическую (различия в предпочтении разных мест обитания), сезонную (различия в сроках размножения), морфологическую (различия в размерах, структуре, как всего тела организма, так и отдельных его органов), генетическую (различия наследственного аппарата, приводящие к несовместимости половых клеток). Общим итогом изоляции является возникновение независимых генофондов двух популяций, которые в итоге могут трансформироваться в самостоятельные виды.

Четвертый элементарный эволюционный фактор – естественный отбор. Его генетическая сущность дифференцированное (неслучайное) сохранение в популяции определенных генотипов и избирательное их участие в передаче генов следующему поколению. Естественный отбор воздействует не на отдельный фенотипический признак, не на отдельный ген, а на всю генетическую систему. Его роль проявляется на уровне фенотипа, который формируется в результате взаимодействия генотипа со средой.

В настоящее время известны три формы отбора:

1. *Движущий отбор*, при котором в результате новых мутаций или перекомбинаций уже имеющихся генотипов или при изменении условий среды в популяции возникают новые генотипы с селективными свойствами. Тогда может возникнуть новый вектор, или направленность, отбора. Под контролем такого отбора генофонд популяции изменяется как единое целое, то есть отсутствует дивергенция дочерних форм.

2. *Стабилизирующий отбор*. Его роль сводится к тому, что в конкретных условиях на основе разных генотипов в популяции становится преобладающим оптимальный для этих условий фенотип. При длительной неиз-

менности таких условий стабилизирующий отбор как бы охраняет ставший устойчивым фенотип от давления любой фенотипической изменчивости.

3. *Дизруптивный отбор.* Его роль в том, чтобы внутри популяции могли возникнуть отчетливо различающиеся формы. При снижении возможности скрещивания между такими популяциями, например, в условиях изоляции, может происходить их дальнейшее расхождение, вплоть до образования новых видов.

СТЭ не является застывшей концепцией. У нее есть ряд трудностей, на которых основываются недарвиновские концепции эволюции, как уже упоминавшиеся выше, так и недавно возникшие, например, *пунктуализм.* Сторонники этой концепции считают, что процесс эволюции идет путем редких и быстрых скачков, а в 99 % своего времени вид пребывает в стабильном состоянии (стазисе). В предельных случаях скачок к новому виду может совершаться в течение одного или нескольких поколений, и в популяции, состоящей всего из десятка особей.

Эта гипотеза опирается на широкую генетическую базу, заложенную рядом фундаментальных открытий в молекулярной генетике и биохимии. Пунктуализм отверг генетико-популяционную модель видообразования, идею Дарвина о том, что разновидности и подвиды являются зарождающимися видами, и сфокусировал свое внимание на молекулярной генетике особи как носителе всех свойств вида.

Ценность этой концепции заключается в идее разобщенности микро- и макроэволюции и независимости управляемых ими факторов. Тем не менее, возможно, в будущем СТЭ и недарвиновские концепции эволюции, дополняя друг друга, объединятся в новую единую теорию жизни.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные признаки живого.
2. Охарактеризуйте структурные уровни организации живой материи.
3. Сформулируйте основные гипотезы происхождения жизни на Земле.
4. Назовите основные этапы происхождения жизни по А. И. Опарину.
5. Назовите и объясните основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина.
6. Что такое синтетическая теория эволюции и как она соотносится с теорией Ч. Дарвина?
7. Что такое микроэволюция?
8. Что такое макроэволюция?
9. Что подтверждает теорию эволюции?
10. Назовите основные законы эволюции.
11. Назовите основные факторы эволюции.
12. Что является движущей силой эволюции?
13. Назовите и объясните основные формы естественного отбора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественнонаучная картина мира – это идеальная модель природы, включающая общие понятия, принципы, законы и теории естествознания на определённом этапе его развития.

Значение естественнонаучной картины мира определено, во-первых, формированием у специалистов научной культуры мышления.

Во-вторых, естественнонаучная картина мира способствует развитию правильного логического мышления. Логические связи между знаниями, доказательства, правила, определения понятий и другие элементы правильного мышления, необходимо развиваются в процессе усвоения естественнонаучной картины мира.

В-третьих, изучение естественнонаучной картины мира определяет способность к развитию научной критики и ориентирует на достоверность и доказательность знаний. Поскольку, естественнонаучная картина мира эмпирически и теоретически обоснована, постольку осваивающий ее человек формирует установку на то, что познание, в целом, должно получать достоверные и доказанные результаты.

Знание естественнонаучной картины мира ведет к формированию положительного отношения человека к гармонии, целесообразности природы в целом. Формирование естественнонаучного мировоззрения у студентов экономических специальностей особенно важно для того, чтобы экономические задачи не решались за счет потребительского отношения к природе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлов, Л.А. Концепции современного естествознания [Текст] / Л.А. Михайлов. – СПб.: Питер, 2012. – 336 с.

2. Исаков, А.Я. Основы современного естествознания [Текст] / А.Я. Исаков. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. – 274 с.

3. Карпенков, С.Х. Концепции современного естествознания [Текст] / С.Х. Карпенков. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 447 с.

4. Разумов, В.А. Концепции современного естествознания [Текст] / В.А. Разумов. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 352 с.

5. Лавриненко, В.Н. Концепции современного естествознания [Текст] / В.Н. Лавриненко, В.П. Ратников. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 319 с.

6. Тулинов, В.Ф. Концепции современного естествознания [Текст] / В.Ф. Тулинов, К.В. Тулинов. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2014. – 484 с.

7. Гусейханов, М.К. Концепции современного естествознания [Текст] / М.К. Гусейханов. – М.: Юрайт, 2011. – 608 с.

8. Рузавин, Г.И. Концепции современного естествознания [Текст] / Г.И. Рузавин. – М.: Проспект, 2015. – 245 с.

9. Брызгалина, Е. В. Концепции современного естествознания [Текст] / Е. В. Брызгалина. – М.: Проспект, 2015. – 496 с.

10. Романов, Л.А. Концепции современного естествознания. Практикум [Текст] / Л.А. Романов. – М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 128 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 4
1. ГУМАНИТАРНАЯ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КУЛЬТУРА 5
2. СТРУКТУРА И МЕТОДЫ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ 12
3. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ О МАТЕРИИ 32
4. ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, ПРИНЦИПЫ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ 40
5. СИММЕТРИЯ. ПРИНЦИПЫ СИММЕТРИИ 50
6. МЕХАНИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА 56
7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КАРТИНА МИРА 76
8. КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА (КПКМ) 90
9. НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭНТРОПИИ 105
10. НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА. САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРИРОДЫ 129
11. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ О ВЕЩЕСТВЕ 138
12. МЕГАМИР И ЕГО СВОЙСТВА 149
13. ЖИВАЯ МАТЕРИЯ 180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 193
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 194

Учебное издание

Очкина Наталья Александровна

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Учебное пособие по направлению подготовки 38.03.03
«Управление персоналом»

Под общ. ред. Г.И. Грейсуха

В а в т о р с к о й р е д а к ц и и
В е р с т к а Н.А. Сазонова

Подписано в печать 29.03.16. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 11,4. Уч.-изд. л. 12,25. Тираж 80 экз.
Заказ №275.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.