

К 10-летию Института дополнительного
профессионального образования СГУ

В.В. Розен

Становление идей современного естествознания



САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
ИНСТИТУТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*К 10-летию Института дополнительного
профессионального образования СГУ*

В.В. Розен

СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕЙ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



Издательство «Саратовский источник»
2010

УДК 50(091)
ББК 20 г
Р 64

Р 64 **Розен В.В.** Становление идей современного естествознания: Монография. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2010. – 133 с.:ил.

ISBN 978-5-91879-030-4

Работа представляет собой краткое изложение основных идей и концепций современного естествознания, данных в процессе их становления. Предпринята попытка увязать скачки в развитии естествознания с социальными и историческими событиями соответствующих эпох. Прослеживаются особенности развития научного знания в различные периоды истории: эпоху Античности, Средние века, эпоху Возрождения, Новое время. Освещены некоторые фундаментальные концепции естествознания XX века, связанные с изучением микро- и мегамира. Затронуты вопросы космологии и системного подхода к сущности жизни.

Для слушателей факультета повышения квалификации ИДПО СГУ.

Рекомендуют к печати:

Кафедра естественно-математических дисциплин
Института дополнительного профессионального образования
Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор *С.И. Дудов*
Доктор физико-математических наук, профессор *Д.А. Бредихин*

Работа издана в авторской редакции

УДК 50(091)
ББК 20 г

ISBN 978-5-91879-030-4

© Розен В.В., 2010

© Издательство «Саратовский источник», 2010

ВВЕДЕНИЕ

Цель данной работы – проанализировать эволюцию научной картины мира от эпохи древнейших цивилизаций до настоящего времени. Большинство важнейших открытий естествознания, на базе которых сформировалась современная научная картина мира, сделано за последние 100-150 лет. Однако понимание всей глубины и сложности этих достижений возможно лишь на основе историко-хронологического подхода: фундаментальные идеи и концепции современного естествознания вызревали долго и мучительно на протяжении столетий и даже тысячелетий. Это обстоятельство предопределило характер изложения материала – не просто перечисление научных открытий и теорий, а увязка процессов, происходивших в естествознании, с социальными и историческими событиями соответствующих эпох.

При сравнительно небольшом объеме книги основное внимание в ней уделено проблемам формирования физической картины мира, а также нашли отражение вопросы современной космологии и сущности жизни. В современной научной картине мира одной из центральных является проблема целостности и единства мира. В настоящей работе намечен подход, который конкретизирует эту общепhilosophическую проблему в рамках отдельных областей естествознания; при этом единство мира подразделяется на физическое, химическое и системное.

По своему содержанию книга относится к дисциплине «Концепции современного естествознания», введенной в учебные планы специальностей немногим более десяти лет назад. До этого выпускники вузов знакомились лишь с историей *своей* науки: математики – с историей математики, физики – с историей физики и т.д. В наше время, когда возникают междисциплинарные научные направления, утверждаются идеи системного характера науки и интеграции наук, нет необходимости доказывать важность такой дисциплины для всех без исключения профессий и специальностей. Однако представители старшего поколения, получившие высшее образование более 15 лет назад, были лишены возможности прослушать указанный курс в рамках своих учебных планов. Данная работа в некоторой степени восполняет этот пробел. Поэтому она может быть рекомендована слушателям факультета повышения квалификации Института Дополнительного Профессионального образования. Также ее можно использовать для самообразования.

Краткая история
естествознания
от эпохи ранних цивилизаций
до конца XIX века

Раздел первый

Тема 1: Наука античного мира

- 1.1. *Предыстория науки.*
- 1.2. *Научные школы Античности.*
- 1.3. *Общая характеристика науки Античности.*

1.1. Предыстория науки

Уходящий в седую древность огромный по продолжительности процесс постепенного накопления знаний о мире привел к формированию основ научного знания, а также к созданию определенной методологии познания природы. Интересно отметить, что первоначально это произошло не в государствах древнейших цивилизаций (к которым относятся страны Востока – Египет, Шумер, Древний Вавилон, Ассирия, Древняя Индия и Древний Китай), а в Древней Греции. Известно место и время зарождения научного знания: греческие колонии в Малой Азии, VI-IV века до н.э.

К началу I тыс. в государствах Древнего мира были накоплены значительные познания и практические навыки в строительстве, земледелии, ирригации, кораблестроении, изготовлении оружия и орудий труда, что заложило основы материальной культуры.

Величайшими завоеваниями цивилизации явилось изобретение письменности, а также появление счета и введение понятия числа. Заслуга создания письменности принадлежит древнему народу – шумерам, жившим в южной части Месопотамии. В 3100 г. до н.э. шумеры первыми в мире разработали письменный язык (это была так называемая *клинопись* – система знаков, наносимых острым инструментом на глиняные таблички). Именно с этого времени начинается письменная история человеческой цивилизации. Позже египтяне усовершенствовали изобретение шумеров, используя для письма папирус – листы, сделанные из волокон речного тростника.

Что касается второго завоевания мировой культуры – появления понятия числа, – следует сказать, что простейшие математические представления (отношения «больше», «меньше», «равно», кратчайшее расстояние между двумя точками, счет предметов в пределах десятка) зародились еще в глубокой древности, в эпоху, о которой не сохранилось никаких письменных памятников. Необходимость счета больших совокупностей (например, овец в стаде) привела к возникновению искусства счета с помощью камешков, палочек, зарубок и т. п.; отметим, что термин «исчисление» происходит от латинского *calculus*, что означает буквально «счет камешками». Интересно, что на первых этапах развития искусства счета каждое число относилось к определенному типу предметов (например, «четыре овцы» писалось иначе, чем «четыре меры зерна»). Кроме того, разные системы мер существовали обособленно – отдель-

но имелись единицы измерения длины и отдельно единицы измерения площади; связь между ними была установлена позднее. В III тысячелетии до н.э. в Египте и в странах Месопотамии возникло абстрактное понятие числа. Дошедшие до нас исторические памятники (египетские папирусы, глиняные таблички Древнего Вавилона) свидетельствуют, что там уже за 20 веков до новой эры начали складываться математические приемы решения задач. Так, во II тысячелетии до н.э. вавилоняне знали четыре арифметических действия, операции возведения в квадрат и в куб, владели техникой решения линейных и квадратных уравнений, решали некоторые задачи, сводящиеся к кубическим и биквадратным уравнениям, а также располагали способами нахождения площадей простейших фигур и объемов некоторых тел. Необходимо отметить, что развитие математики и письменности происходило в тесном контакте. Недавние археологические находки показали, что именно потребности в измерениях, делении и распределении материальных ценностей послужили импульсом к созданию первых систем письма. В свою очередь, возникновение разделов математики, выходящих за рамки простого счета, нельзя представить без фиксирования используемых понятий с помощью письма.

Подчеркнем, что развитие математики направлялось запросами практики. Так, задачи составления календаря, распределения урожая, организации общественного труда, сбора налогов, составления коммерческих расчетов привели к созданию арифметики, которая затем стала превращаться в алгебру. Из потребностей измерения земельных участков, строительства, изготовления оружия и орудий труда возникла геометрия. Необходимость определения местоположения корабля во время морского путешествия способствовала созданию небесной механики. Однако в течение длительного времени математика представляла собой просто набор рецептов для решения конкретных задач. Также запросы практики стимулировали создание астрономии. Считается, что астрономические наблюдения начались в III тыс. до новой эры. Уже в XIII в. до н. э. халдеи знали все 12 созвездий Зодиака. Они же обнаружили пять особых светил, которые, постоянно меняя свое положение на небе, переходят из одного созвездия в другое. Впоследствии греки назвали их *планетами*, т.е. «блуждающими».

Выраженное у древних народов поклонение небу изначально было обусловлено религиозными мотивами. Так, шумеры строили из обожженных кирпичей пирамиды с плоскими крышами, на которых приносились жертвы (так называемые *зиккураты*), – чтобы приблизиться к небесным богам. Но впоследствии они сообразили, что эти постройки можно использовать и для астрономических наблюдений, полагая, что движения небесных тел указывают на намерения богов. Так издревле астрономия переплеталась с астрологией.

В эпоху ранних цивилизаций в государствах Древнего Вавилона, Египта, Ассирии наблюдения за движением небесных тел стали носить регулярный характер. Регистрировались солнечные и лунные затмения, составлялись таблицы движений планет. Уже в 1800 г. до н.э. в Вавилоне существовал обширный

каталог звезд, а в середине VIII в. до н.э. была создана постоянная астрономическая служба. Подчеркнем еще раз, что потребность в астрономических знаниях вызывалась практическими нуждами – составлением календаря, необходимостью предвидеть время разлива рек, наступления сезона дождей или жары (эти события связывались с полуденной высотой Солнца и появлением на небе характерных звезд). Например, в Египте начало наиважнейшего для египтян события – разлива Нила – совпадало по времени с появлением на небе самой яркой звезды – Сириуса.

Хорошо известны достижения египтян в строительстве (храмы, пирамиды, культовые сооружения), в медицине (диагностика и лечение некоторых болезней, мумификация трупов). Уже за 2 тыс. лет до новой эры в Древнем Египте существенное развитие получили различные ремесла – гончарное, выплавка и обработка металлов, обделка дерева и камней, изготовление стекла и разнообразных украшений, косметика. Все это стимулировало накопление естественнонаучных знаний о веществах, что впоследствии привело к появлению химии. (Согласно Плутарху, термин «химия» произошел от одного из древних названий Египта – *Хеми* и первоначально означал «египетское искусство».)

Итак, древнейшие цивилизации Востока накопили огромную массу фактов и сведений о природе. Появились механизмы хранения и передачи информации – письменность и системы исчисления, средства измерения параметров пространства и времени. Были созданы зачатки математики и астрономии. Имелся определенный практический опыт в таких областях знания, как биология, химия, медицина. Можем ли мы квалифицировать все это как начало формирования науки? Для ответа на этот вопрос необходимы критерии научного знания, то есть критерии, по которым наука отличается от «просто знания».

Хорошо известно, что любая наука начинается со сбора фактов. Затем идет их отбор, сортировка, систематизация; следующий этап – выдвижение гипотез, общих положений, нахождение объяснений и, наконец, создание теорий, объясняющих эти факты и предсказывающих новые. Основные критерии научности знания таковы.

А) *Системность*. Наука есть не просто «куча фактов», а некоторая их система, в которой выделены отдельные части, эти части упорядочены и соподчинены между собой.

Б) *Рациональность*. Следующий этап после сбора фактов – их отбор, систематизация, классификация, которая производится отвлеченно (в голове) за счет их сравнения, сопоставления, осмысления. Далее происходит выдвижение гипотез, общих положений, создание теорий. Главную роль во всех этих процессах играет мышление. В результате мы приходим к последовательному и рациональному объяснению явлений природы.

В) *Доказательность*. Новые положения не просто «присоединяются» к уже имеющимся. Они должны быть, во-первых, аргументированы, обоснованы в рамках существующих логических правил, а во-вторых, согласованы с при-

нятыми ранее положениями. Доказательность есть важнейшая черта научного знания, отличающая его, например, от религии.

Г) *Фундаментальность*. Чтобы стать научным, знание должно «оторваться» от своей практической привязки и стать обобщенным. Знание, «заикленное» на решении практических задач, не может породить ни математику, ни логику, ни философию, ни космологию. Исследуя, наряду с конкретными, общие, воображаемые, абстрактные понятия и конструкции, наука носит отчетливо выраженный теоретический характер.

Рассматривая под этим углом зрения знание Древнего Востока, нетрудно придти к выводу, что в целом оно не удовлетворяет сформулированным выше критериям научности. Действительно, огромный фактический материал, накопленный за тысячелетия наблюдений за природой, не был осмыслен, не был приведён в систему, – это была просто масса отдельных фактов. Вопрос – *почему* происходит то или иное явление, даже не ставился. Основным методом исследования природы сводился к созерцанию и регистрации увиденного. Восточный тип знания представляет собой не рациональное объяснение, а основанный на интуиции или сверхчувственном восприятии «акт озарения». Таким образом, знания тех эпох не удовлетворяют критериям системности и рациональности. Не удовлетворяют они и другим двум критериям – доказательности и фундаментальности. В самом деле, по своему характеру знания той эпохи были сугубо конкретными и по виду являлись рецептами: чтобы получить то-то, делай так-то. Например, в математике того времени не было общих теорем и формул, а были только частные правила решения конкретных задач. Откуда эти правила взяты, могут ли они быть обоснованы или улучшены – это не обсуждалось. Получались ли в результате применения этих правил приближенные решения или точные – это не указывалось. Наконец, знание той эпохи не было возведено в ранг «общественного института»: и в Древнем Египте, и в Древнем Вавилоне знание рассматривалось как чудо, было окутано таинством и носило сакральный (священный) характер. Его носителями были жрецы – хранители религиозных и мифологических тайн. Передача этих тайн могла быть осуществлена только внутри определённой касты. Приблизительно такой же характер носило в ту эпоху знание Индии и Китая. Окончательный вывод: *знания, а также общие представления о мире эпохи первых цивилизаций стран Востока имели донаучный характер*. Чтобы знания превратились в науку, нужен качественный скачок. Ни в Древнем Египте, ни в Древнем Вавилоне этот скачок так и не произошёл. Главная причина этого кроется в особенностях мировоззрения той эпохи: и для древних египтян, и для древних вавилонян природа была загадкой, которую они и не пытались разгадать.

Становление научных подходов к познанию мира происходит в VI веке до н.э. На смену простому созерцанию явлений природы и их наивному толкованию приходят попытки объяснить эти явления и найти их причины. Создаются первые научные школы. Возникают первые научные программы.

Место зарождения научного знания – Древняя Греция, точнее – Иония, бывшая в то время греческой колонией в Малой Азии.

1.2. Научные школы Античности

Цивилизации Древней Греции и Древнего Рима принято объединять термином «античность». Античная культура оказала основополагающее влияние на дальнейшее развитие всей духовной культуры человечества. Одним из важнейших достижений античной культуры явилось зарождение научного знания. Историю античной науки принято делить на четыре периода (названия которых даны в соответствии с географическим расположением центров научного знания): *ионийский*, *афинский*, *александрийский*, *древнеримский*. Дадим краткую характеристику этих периодов.

Ионийский период относится к VI в. до н.э., когда Греция занимала обширную область Средиземноморья, Малую Азию, часть побережья Черного моря и состояла из полисов – самостоятельных городов-государств. В это время развитие греческих полисов наиболее интенсивно происходит в Ионии – греческой колонии в Малой Азии. Главный город Ионии – Милет, расположенный на Малоазийском побережье Эгейского моря, был крупным портом, через который проходили торговые пути от греческих городов на Восток. Именно там возникла первая в истории цивилизации научная школа – *ионийская* или *милетская школа*, основателем которой был Фалес Милетский (624–547 до н.э.). Фалес первым установил существование статического электричества, впервые определил продолжительность года в 365 дней. Фалесом было предсказано наступление солнечного затмения в 585 году. В математике он одним из первых использовал дедукцию, которая до настоящего времени является основным методом проведения математических рассуждений. Но главное не в этих открытиях, безусловно, важных самих по себе. Основная заслуга Фалеса состоит в изменении методологии научного знания: в отличие от своих предшественников Фалес, а потом и его ученики и последователи начали задавать вопрос «почему?» Фалес создал первую в истории цивилизации научную школу (*ионийскую* или *милетскую школу*), стремившуюся постичь истинную природу вещей, которую они именовали «физис» (отсюда термин «физика»). К наиболее крупным представителям ионийского периода, наряду с Фалесом, относятся Анаксимандр (610–546 до н.э.), Анаксимен (585–525 до н.э.), Пифагор (582–500 до н.э.), Гераклит (544–483 до н.э.), Анаксагор (500–428 до н.э.). Взамен мифологических представлений древности начинается рациональное (основанное на разуме) познание мира. Мыслители милетской школы пытались найти естественные основы бытия; важнейшим для них в этом плане был поиск единого первоначального вещества. Фалес учил, что им является вода (влага): вода есть то первовещество, из которого все происходит и в которое все возвращается. Ученик Фалеса Анаксимандр трактовал вопрос о перво-

веществе иначе, чем Фалес, полагая, что таковое нельзя искать среди эмпирически данных веществ; он назвал его *апейрон* (беспредельное), понимая под ним, по-видимому, неопределенную материю. Ученик Анаксимандра Анаксимен считал, что первоначалом всего является воздух, а младший современник Анаксимена – Гераклит усматривал первоначало всех природных явлений в огне. Неважно, что первые ответы наивны и противоречивы. Дело здесь не в конкретных ответах, а в постановке задачи.

Делаются попытки нахождения движущих сил природы. Анаксимандр считал источником движения противоположность теплого и холодного, Анаксимен – противоположность расширения и сжатия. Анаксагор упорядочивающим началом мира объявляет «*нус*» – самое тонкое из всех веществ природы. Формулируется идея объективного Мирового Закона. Наибольшее развитие эта идея получила у Гераклита в его учении о Логосе. Гераклит рассматривал мировой порядок как проявление объективного закона всеобщего развития, который осуществляется путем борьбы противоположностей.

Философские взгляды представителей милетской школы были тесно связаны с их естественнонаучными представлениями. Анаксимандр является создателем учения о бесчисленном количестве миров, их постоянном возникновении и гибели. Согласно Анаксимандру, боги не принимают никакого участия ни в возникновении, ни в развитии, ни в уничтожении бесчисленных миров Вселенной. Космологические идеи Анаксимандра развивают положения Фалеса. Однако, в отличие от Фалеса, Анаксимандр пришел к выводу, что Земля ни на что не опирается в мировом пространстве. Это заключение является важнейшим достижением милетской школы.

Анаксагор существенно дополнил теории Анаксимандра и Анаксимена. Он ввёл представление о бесконечной Вселенной, заполненной множеством частиц. Анаксагор высказал предположение о том, что небесные тела состоят из тех же веществ, что и Земля (эта «ересь» едва не стоила ему жизни).

Знаковой фигурой античности был Пифагор (VI век до н.э.). Созданная Пифагором научная школа («*пифагорейский союз*») более века определяла развитие научной мысли Древней Греции. Школе Пифагора еще в большей степени, чем ионийцам, было свойственно стремление к раскрытию «гармонии мира», причем постижение этой гармонии пифагорейцы видели в изучении арифметики, геометрии и теории музыки. Пифагорейский союз внес значительный вклад в развитие научного познания, и, прежде всего, математики. Основное мировоззренческое положение, сформулированное школой Пифагора, гласит, что мир есть число. Число воспринималось пифагорейцами как божественное начало и сущность мира. В современной терминологии этот тезис может быть интерпретирован таким образом, что свойства вещей проявляются через единство количества и качества, поэтому невозможно постижение сущности вещей и явлений без установления их количественных характеристик. Осознание этого способствовало преобразованию математики из чисто практической прикладной науки в теоретическую, основанную на системе понятий,

логически связанных между собой процедурой доказательства. Именно наличие аксиом и доказательств превращает математику в теоретическую дедуктивную науку.

В области астрономии пифагорейское учение произвело переворот: Пифагор заявил о сферичности Земли и всей Вселенной. Этот вывод Пифагор сделал из чисто эстетических соображений (сфера – идеальная геометрическая фигура).

Афинский (или классический) период датируется с 480 по 330 гг. до н.э. и по времени совпадает с возвышением Афин после победной войны с персами. В эти годы демократия рабовладельческой Греции достигает наивысшего уровня. В Афинский период окончательно выделились две линии античной философии: первую представляли Сократ, Платон и Аристотель, а вторую – Левкипп и Демокрит.

Сократ (469-399) пользовался большим влиянием в Древней Греции, впоследствии его имя стало нарицательным, воплощая собой высшую мудрость. Письменных сочинений Сократа до нас не дошло (а возможно, их и не было); известно лишь, что Сократ излагал свои мысли устно в форме бесед и диалогов. Сократ не занимался натурфилософией, считая познание природы невозможным; познать, согласно Сократу, можно лишь самого себя.

Ученик и последователь Сократа Платон (428–347 до н.э.) – один из крупнейших философов Древней Греции. Им была основана в Афинах философская школа, которая помещалась в саду, носившем имя легендарного героя Академа (поэтому она получила название *Академии*). Согласно учению Платона, наблюдаемый нами «мир чувственно воспринимаемых вещей» является лишь отражением мира идей. Всякая чувственная вещь – это тень своего бестелесного прообраза, своей идеи. Чувственные вещи непостоянны, изменчивы, они возникают и погибают. Идеи же вечны и неизменны, и именно они составляют сущность вещей. Источником познания согласно Платону служат воспоминания души о мире идей, которые бессмертная душа созерцает до ее вселения в смертное тело.

Основные космологические взгляды Платона восходят к пифагорейской школе, в частности, почерпнутая у пифагорейцев идея небесной гармонии. Важнейшей естественнонаучной задачей, поставленной Платоном перед своей Академией, была задача объяснения движения небесных тел (не регистрации, а объяснения!). Первое решение этой задачи было дано учеником Платона – Евдоксом (406–355 гг. до н.э.), выдающимся математиком и астрономом античного мира. В модели Евдокса космос был разделен на концентрические сферы, на которые были помещены все известные тогда планеты, Солнце и Луна. Звезды Евдокс разместил на одной сфере, содержащей в себе все остальные. Комбинация вращений этих сфер воспроизводила видимые движения небесных тел. Хотя система Евдокса не могла объяснить все аномалии движения планет, это была первая кинематическая модель Вселенной, положившая начало астрономии.

Своей вершины философская мысль Древней Греции достигает у Аристотеля (384–322 до н.э.). В сочинениях Аристотеля содержатся практически все известные в его эпоху сведения из различных областей знания: математики, механики, физики, астрономии, минералогии, зоологии, медицины, экономики, истории, философии. Его труды явились своеобразной энциклопедией знаний античного мира. Аристотелю принадлежит не только систематизация античного знания – он также внес существенный вклад в формирование ряда наук (таких, как логика, теоретическая зоология, ботаника, медицина).

Что касается философских взглядов Аристотеля, следует сказать, во-первых, что он отверг основной тезис своего учителя Платона «о первичности мира идей»: Аристотель считал, что реальный мир существует безотносительно «мира идей».

Есть знаменитая фреска Рафаэля «Афинская школа», на которой в центре композиции рядом стоят Платон и Аристотель – учитель и ученик. Величественный старец Платон указывает рукой на небо: там, в недостижимых высях находится совершенное царство идей, жалким отражением которого является наш мир скорби и печали. Аристотель, словно полемизируя, простер свою руку над Землей, как бы говоря, что он верит в первичность земного мира; знаменитая фраза «Платон друг, но истина дороже» является ответом Аристотеля своему учителю.

В своих естественнонаучных трудах Аристотель продолжает обоснование своей философии. Он считает, что в основе всего бытия лежит *первоматерия*. Она вечна, не может ни из чего возникнуть, ее количество в природе неизменно и она способна лишь к превращениям. Первоматерия превращается в то или иное тело под воздействием особого деятельного начала – *формы*. Возникновение тел, происходящее в результате формирования материи, входит у Аристотеля в понятие движения. Движение является центральной категорией натурфилософии Аристотеля – только понимание движения может дать подлинное знание природы. По представлениям Аристотеля движущееся тело постоянно находится под воздействием силы, при этом скорость его движения тем больше, чем меньше сопротивление среды. Если бы сопротивление среды отсутствовало (движение в пустоте), то тело приобрело бы неограниченную скорость, что противоречит обыденным представлениям; отсюда Аристотель приходит к выводу, что «природа не терпит пустоты».

Остановимся на космологических представлениях Аристотеля. Аристотель придерживался *геоцентрической модели мироздания*: Земля находится в центре Вселенной. Все небесные тела помещаются Аристотелем на хрустальные сферы: ближайшей к Земле является та сфера, к которой прикреплена Луна, самая дальняя сфера – сфера неподвижных звезд. За сферой неподвижных звезд, согласно Аристотелю, находится «*перводвигатель*», заставляющий вращаться хрустальные сферы вокруг неподвижной Земли; под первоисточником движения Аристотель понимал «мировой дух». Космическая дихотомия Аристотеля исходила из деления космоса на две области – до первой небес-

ной сферы (подлунную) и *за* ней (надлунную), которые резко различаются между собой как по составу, так и по характеру действующих в них физических законов. Весь надлунный мир заполнен особым совершенным веществом – эфиром, из которого состоят все небесные тела. Подлунный мир – это зона «четырех стихий» (земля, вода, воздух, огонь), из смешивания которых получены все тела, встречающиеся на Земле. Законы движения в подлунном и надлунном мирах различны: в подлунном мире все естественные движения происходят по прямой, а в надлунном – по окружностям.

В V–IV веках до н.э. в Древней Греции возникает атомистическое учение, основателями которого были Левкипп (500–440 до н.э.) и Демокрит (460–370 до н.э.). В противоположность Анаксагору, считавшему все вещества бесконечно делимыми, Левкипп утверждал, что существует предел делимости вещества. В основе атомистического учения, развитого Демокритом, лежит представление о мельчайших неделимых частицах материи – атомах. Согласно этому учению атомы вечны, поэтому вся Вселенная, состоящая из атомов и пустоты, также вечна. Все тела природы состоят из атомов, причём атомы неизменны, а состоящие из них тела изменчивы и преходящи. Демокрит считал, что существуют разные виды атомов, отличающиеся друг от друга по форме и величине. Благодаря соединению атомов разных видов и создаётся всё разнообразие существующих в мире вещей. Источником жизни Демокрит признавал особые круглые и гладкие атомы, обладающие наибольшей подвижностью. По учению Демокрита атомы вечно движутся в пустоте по прямой линии, причём это движение вызвано универсальной необходимостью. Атомистические представления Левкиппа и Демокрита в дальнейшем были развиты Эпикуром (341–270 до н.э.). В частности, помимо размеров и формы, Эпикур вводит ещё одну характеристику атомов – вес. Эпикур дополнил учение Демокрита признанием случайности: случайные отклонения атомов уничтожают универсальную необходимость, при этом атомы, наряду с прямолинейным движением, могут двигаться и по кривой.

Александрийский (или эллинистический) период протекает с 330 по 30 гг. до н.э., начинаясь с утверждения македонского владычества на всем побережье Средиземного моря и заканчиваясь подчинением Римом Египта – последнего крупного государства Восточного Средиземноморья. Включение ранее независимых полисов в состав империи Александра Македонского способствовало росту торговли, развитию транспорта и ремесел. Необходимость совершенствования технических средств ведения войны стимулировала интерес к научным исследованиям. Основанная Александром Македонским в 332 г. до н.э. новая столица Египта – Александрия – при Птолемеях становится центром науки и культуры античного мира.

Стремительный рост Александрии объясняется, прежде всего, тем, что правившие Египтом наследники Александра отпускали щедрые средства на строительство и научные исследования: был построен «храм науки» Мусейон, ставший крупным научным центром, а также музеем; была основана богатей-

шая по тем временам Александрийская библиотека; отпускались значительные средства на постройку более совершенных астрономических инструментов (тем самым впервые был осуществлен опыт государственного финансирования науки). Далее, в Александрии греки вступили в контакт с египтянами и вавилонянами, благодаря чему им стали доступны неисчерпаемые сокровища астрономических наблюдений, накопленные за многие столетия в Древнем Египте и Древнем Вавилоне. Ученые Александрии также были связаны с афинским Ликеем, основанным Аристотелем (например, последний выдающийся руководитель Ликейя греческий ученый Стратон преподавал как в Ликее, так и в александрийском Мусейоне).

Александрийский период – время расцвета математики и механики. Происходит геометризация математики: возникает *геометрическая алгебра* позволяющая решать алгебраические задачи геометрическими методами (в греческой математике того времени не было нуля и отрицательных чисел, поэтому не было возможности развития настоящей алгебры). Для решения алгебраических задач разрабатывается *геометрия циркуля и линейки*. Начинается изучение конических сечений – эллипса, гиперболы, параболы (в основном, в трудах Аполлония Пергского). Вслед за *планиметрией* появляется *стереометрия*, в частности, изучаются правильные многогранники.

В эллинистический период творил выдающийся математик – Евклид, геометрия которого практически без изменений просуществовала до начала XX века. Геометрия Евклида изложена в его знаменитых «Началах», представляющих собой уникальное произведение в истории человеческой культуры. «Начала» Евклида состоит из 13-ти книг, построенных по единой логической схеме: вначале определяются основные понятия геометрии, затем формулируются аксиомы, и вся система геометрии строится аксиоматическим методом – все геометрические факты (теоремы) выводятся из аксиом чисто логическим путем. «Начала» Евклида послужили толчком к созданию концепции логического, математического подхода к познанию природы. Первоначально сочинение Евклида рассматривалось как описание геометрии физического пространства, однако необычная структура этой работы, ясность и четкость изложения стимулировали аксиоматически-дедуктивный подход ко всем естественным наукам. В плане логической структуры «Начала» Евклида послужили образцом для всего естественнонаучного знания, основанного на математике.

К александрийскому периоду относится творчество величайшего математика и механика античности Архимеда, который положил начало выделению естественных наук в самостоятельную область знания – до этого естественные, гуманитарные науки и философия были неразделимыми. В частности, деятельность Архимеда способствовала математизации механики и превращению ее в самостоятельную область знания.

- Любопытно отметить, что слово «механика» происходит от греческого *techane*, что первоначально обозначало подъемную машину, употреблявшуюся в греческих театрах для подъема и опускания на сцену греческих богов, которые должны были разрешить запутанный ход представлявшейся драмы; отсюда и произошла часто употребляемая латинская поговорка *dues ex machina* – бог из машины. Впоследствии слово *techane* стало употребляться для обозначения любых машин.

Среди математических исследований Архимеда особенно важны его труды, связанные с определением площадей и объемов тел методом исчерпывания, предвосхитившие интегральное исчисление. основополагающим трудом по гидростатике явилось сочинение Архимеда «О плавающих телах». В нем сформулирован знаменитый принцип, который известен ныне под названием *закона Архимеда*: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости. Как и все остальные сочинения Архимеда, по способу получения содержащихся в них результатов они являются чисто математическими.

Успехи греческой математики, связанные, в первую очередь, с достижениями Евклида и Архимеда, превратили математику из набора разрозненных и необоснованных эмпирических правил в обширную, глубокую и систематическую науку.

Математики александрийского периода написали большое число работ, связанных с распространением света (среди них – сочинения Евклида «Оптика» и «Катоптрика», «Катоптрика» Архимеда, «О зажигательном зеркале» Аполлония, «О зажигательных зеркалах» Диоклеса). В «Оптике» Евклид рассматривает проблемы зрения и использования зеркал для определения размеров различных предметов. В «Катоптрике» (теории зеркал) показано, как ведут себя лучи света при отражении от плоских, выпуклых и вогнутых зеркал. В I в. н. э. Герон александрийский вывел из закона отражения важное следствие: луч света распространяется по кратчайшему пути. В книге Диоклеса содержалось доказательство того, что параболическое зеркало, отражая свет от источника света, помещенного в его фокусе, собирает лучи в пучок, параллельный оси зеркала. Обратное, если пучок падающих лучей направить параллельно оси параболического зеркала, то отраженные лучи соберутся в одной точке – фокусе. При этом собранные в фокусе солнечные лучи вызывают сильный разогрев и способны воспламенить помещенный туда горючий материал. (По преданию Архимед, используя это свойство зажигательных зеркал, сумел поджечь корабли неприятельского флота).

Александрийцы создали астрономию, оказавшуюся непревзойденной в течение 15-ти столетий. Особое место среди астрономических достижений того периода занимает гелиоцентрическая гипотеза, выдвинутая Аристархом Самосским (320–250 г.г. до н.э.). Однако мысль о Земле, обращающейся вокруг Солнца, оказалась слишком смелой для своего времени и не получила поддержки (авторитет Аристотеля!). Аристарх предпринял первые попытки вы-

числения размеров Солнца, Луны, планет и расстояний до них; тем самым был сделан принципиальный шаг на пути изучения «параметров Вселенной».

Завоевательные походы Александра Македонского способствовали расширению кругозора и географических познаний древних греков; математические основы географии были заложены выдающимся ученым античности – Эратосфеном, блестящим математиком и астрономом (276–194 до н.э.).

Хронологические границы *древнеримского периода* научного знания размыты и укладываются в промежутке от I в. до н.э. до V в. н.э. Хотя в Древнем Риме было немало талантливых ученых и философов, развитие естественнонаучной мысли (особенно в отношении новых философских, математических и космологических идей) имело гораздо более скромный характер, чем в эпоху эллинизма.

Одной из значительных фигур этого периода был философ и поэт Тит Лукреций Кар (99–55 до н.э.), развивший атомистические взгляды Демокрита и Эпикура. Поэма Лукреция «О природе вещей», являющаяся одновременно художественным и философским произведением, была по существу основным источником атомистических представлений той эпохи. Атомистический принцип являлся для Лукреция универсальной гипотезой, на основании которой дано объяснение всех явлений природы. Лукреций отрицал религиозную догму о божественном сотворении природы и человека. Согласно Лукрецию, все вещи возникают из первичных «телец» (то есть атомов) и распадаются на них после своей гибели. Эти тельца неделимы, вечны и отличаются друг от друга весом и конфигурацией; их различные комбинации и создают все многообразие существующих в мире вещей. Соединение и распад телец происходит под действием тяжести.

Глубокие идеи высказывал Лукреций относительно Вселенной и жизни. Вопреки взглядам Аристотеля, Лукреций считал, что Вселенная не имеет никакого центра. Вселенная бесконечна и содержит бесконечное число миров. Эти миры возникли в результате случайного сочетания первичных телец. Земля, как и все миры, имеет начало во времени и поэтому, в конце концов должна погибнуть. Возникновение жизни Лукреций также объяснял без обращения к сверхъестественным силам. Живые организмы, согласно Лукрецию, возникли в результате случайного комбинирования первичных телец. Вначале возникали организмы, плохо приспособленные к жизни, и они быстро погибали. Постепенно появились существа, сумевшие приспособиться к окружающим природным условиям. Лукреций был противником телеологической концепции жизни, объясняя все процессы возникновения и жизнедеятельности живых существ на основе атомистической теории. Помимо основ атомистического учения, шесть книг поэмы Лукреция содержат вопросы космологии, астрономии, географии, геологии, метеорологии, биологии, анатомии, истории, являясь своеобразной естественнонаучной энциклопедией того времени.

Вершиной античной астрономии стала система мира, создателем которой явился греческий ученый Клавдий Птолемей (90–168 н.э.), один из самых

образованных людей той эпохи. Свои астрономические наблюдения он проводил с 127 по 151 гг. н.э в Александрии, входившей тогда в состав Римской империи. Основная цель, которую поставил перед собой Птолемей, формулировалась им так. «Перед нами стоит задача – доказать, что как в случае пяти планет, так и в случае Солнца и Луны, все видимые нерегулярности вполне объяснимы посредством равномерных круговых движений». Птолемей блестяще решил поставленную задачу и создал теорию, которая позволяла предсказывать положение небесных тел с точностью, соизмеримой с точностью измерительных приборов того времени. Главное сочинение Птолемея «Великое математическое построение астрономии» впоследствии было переведено на арабский язык, а затем вошло в европейскую астрономию, заняв в ней главенствующее положение в течение почти 14-ти веков. Оно содержало первое в истории цивилизации полное и строгое описание запутанных движений планет. Сложность состояла в том, что, во-первых, траектории движения планет не являются круговыми, во-вторых, сами движения не являются равномерными и, в-третьих, имеет место так называемое «попятное движение» – когда планета движется в одном направлении, а потом в противоположном. Сложность этой картины колоссальная. Недаром Птолемею приписывают фразу: «проще двигать планеты, чем разгадать закон их движения».

Следует заметить, что идея объяснения сложного движения планет как композиции двух круговых движений принадлежит другому великому астроному античности – Гиппарху, жившему во II в. до н.э. Система Птолемея вошла в астрономию под названием *геоцентрическая система мира*: в центре Вселенной находится Земля, вокруг которой вращаются Солнце, Луна и все планеты.

Геоцентрическая система, ставшая общепризнанным итогом античной астрономии, убедительно продемонстрировала возможности математики в описании и осмыслении таинственных небесных явлений. Она просуществовала до XVI века, уступив место гелиоцентрической системе Коперника.

В целом науку Древнего Рима отличает ее практическая направленность: в ней преобладают сочинения по вопросам земледелия, гидротехники, архитектуры, военного дела, медицины, истории, географии. Развитие географии стимулировалось завоевательными походами и увеличением территории Древнего Рима; 17-томная «География» Страбона (63 до н.э. – 23 н.э.) содержала подробное описание известных тогда материков – Европы, Азии и Африки. Наиболее обширным сочинением той эпохи по географии считается сочинение Птолемея в восьми книгах, в котором были изложены методы составления карт, применяемые и в современной картографии (в частности, метод стереографической проекции). В своем труде Птолемей определил положение на поверхности Земли восьми тысяч мест, указав их географические координаты – широту и долготу (идея введения географических координат принадлежит основоположнику математической географии Гиппарху).

Математика у римлян носит, в основном, прикладной характер и сводится к разработке методов решения практических задач. Из теоретических работ до нас дошли сочинения Герона, Паппа, Витрувия (они касаются как теоретических, так и прикладных вопросов математики и механики), а также Диофанта, труды которого сыграли важную роль в становлении новых разделов алгебры и теории чисел. Многие научные сочинения той эпохи имеют форму поэм, диалогов, энциклопедий. Кроме поэмы Лукреция «О природе вещей», к ним можно отнести сочинение Аннея Сенеки, написанное в литературной форме и содержащее сведения по физике, геологии, метеорологии, географии; поэму римского писателя Манилия, посвященную астрономии, и ряд других.

1.3. Общая характеристика науки Античности

Знакомство с историей античной науки вызывает ряд интересных и важных вопросов.

1. Почему именно Древняя Греция стала «колыбелью» науки? Ни в Египте, ни в Вавилоне, ни в Индии, ни в Китае, которые имели гораздо более старшую цивилизацию, не произошел тот качественный скачок, который превратил бы огромную массу накопленных там познаний в науку.

2. Почему Древний Рим, который вырос на основе греческой цивилизации, не унаследовал такого глубокого интереса к тайнам мироздания, который был свойственен древним грекам? Хотя эти две цивилизации объединяются единым термином «античность», их вклад в построение античной картины мира несопоставим. То, что мы наблюдаем в плане естественнонаучного и философского осмысления Вселенной в Древнем Риме, – это в лучшем случае пересказ того, что сделали древние греки (хотя были и талантливые пересказчики, например, «О природе вещей» Лукреция).

3. Каковы причины кризиса античной науки?

4. В чем состоит вклад античности в современную науку и культуру?

Дадим краткие ответы на поставленные вопросы.

1. Причины зарождения науки в Древней Греции надо искать в особенностях ее общественно-политического устройства. Древнегреческая цивилизация представляет собой уникальное явление в истории мировой культуры. Остальной мир, в частности, древнейшие цивилизации Востока относились к так называемому «азиатскому типу восточных деспотий», в которых определяющими являлись отношения власти.

В Греции уже в первом тысячелетии до н.э. появилась частная собственность, ориентированная на товарное производство. Возникают товарно-денежные отношения. Происходят преобразования в политической сфере: в рамках

рабовладельческой демократии появляются партии, прогрессирует право, вводятся законы.

Греческая цивилизация возникла как полисная, то есть состояла из городов-государств (полисов); их формирование в основном было завершено к VI в. до н.э. Полисы, составлявшие Грецию, обладали самостоятельностью и имели отличительные черты политической, экономической и духовной жизни. В греческих полисах сложились различные формы общественного и государственного устройства, что привело к разнообразию философских и научных идей. Своеобразие исторических условий Древней Греции способствовало развитию в древнегреческом обществе духовной деятельности как таковой – безотносительно ее практической значимости. Дух чистого соперничества, зародившийся в спортивных состязаниях, распространился и на сферы интеллектуального труда.

В настоящее время большинство методологов науки согласны с тем, что ее важнейшей системообразующей чертой является гипотетико-дедуктивный метод. Так, историю математики как науки принято начинать с VI в., когда общие математические факты стали устанавливаться на основе дедуктивных доказательств. «Со времен греков говорить *математика* – значит говорить *доказательство*» – этой фразой Бурбаки начинают изложение своего многотомного трактата по основам современной математики. Хотя Восточная математика, возникшая в Древнем Египте и Древнем Вавилоне, значительно старше греческой и рассматривается некоторыми историками науки как исток математики эллинов, она оставалась чисто вычислительной и носила эмпирический характер. И только в Древней Греции в VI в. до н.э. в среде греческих астрономов и математиков начинают систематически применяться научная гипотеза и дедуктивное доказательство, ставшие главными орудиями в приобретении знаний. Как отмечает один из современных исследователей, «действительно оригинальной и революционизирующей идеей греческой геометрии было стремление найти доказательство «очевидных» математических фактов». В этом и заключался переход от эмпирической математики к теоретической и дедуктивной.

Что же побудило греческих математиков строить дедуктивные доказательства достаточно очевидных фактов? Согласно сведениям перипатетика Евдема Родосского, автора нескольких трудов по истории греческой науки Фалес искал дедуктивные доказательства, например, таких геометрических утверждений, как «диаметр делит круг пополам»; «угол, опирающийся на диаметр, – прямой», «углы при основании равнобедренного треугольника равны» и т.п. Никакой *практической* значимости это не имело, так как данные утверждения были хорошо известными. Однако Фалес – богатый и влиятельный человек, – найдя доказательства подобных утверждений, приобрел на этом поприще общественное признание. Значит, социальная и культурная обстановка Греции той эпохи отличалась тем, что авторы даже таких открытий, которые не имели

никакой практической ценности, получали общественное одобрение. Тем самым создавались мощные стимулы для новых открытий.

Этих стимулов не было в странах Востока. Например, в Древнем Вавилоне регулярные астрономические наблюдения велись с 747 г. до н.э., и накопленный материал позволял вавилонским астрономам вычислять движения планет и предсказывать затмения Солнца и Луны. Но вавилоняне совершенно не интересовались ни физическим строением планет, ни их размерами, ни расстояниями, поскольку для целей предсказания все это было излишним. Они умели предсказывать лунные затмения, но даже не пытались узнать их причину. Не интересовали их и *вопросы объяснения* движений планет. Но для греков, стремившихся проникнуть в тайны мироздания, эти вопросы стали главнейшими. Начиная с Анаксимандра, греческие астрономы стремились к геометрическому объяснению видимого движения небесных тел. Задача построения геометрической модели космоса была поставлена Платоном, а первое решение этой задачи – представление движений небесных тел с помощью концентрических сфер – было дано учеником Платоновской Академии Евдоксом. Кроме того, Евдокс предложил методы определения расстояний до Солнца и Луны и их размеров; эти методы легли в основу вычислений, произведенных первым автором гелиоцентрической системы мира Аристархом Самосским.

Подлинной целью древних греков было постижение гармонии Вселенной. Это объясняет, в частности, их интерес к математике: математика помогала найти порядок в хаосе, связать идеи в логические цепочки, обнаружить основные принципы устройства мира. Греки полагали, что структура Вселенной основана на геометрических постулатах, воплощением которых является пространство. Именно поэтому исследование пространства и пространственных отношений рассматривалось ими как важнейший пункт изучения природы. Геометрия являлась составной частью более широкой программы космологических исследований.

Еще один важный фактор, способствующий внедрению логических доказательств, – это дух соревновательности, присущий греческому обществу того времени. Заметим, что дух чистого соперничества, не преследующего никакой материальной выгоды, зародился в греческой агностике – спортивных состязаниях – и распространился впоследствии на сферы интеллектуального творчества: литературу, философию, науку. В этом отношении эмпирический метод проигрывает логическому, так как он не обладает такой убедительной силой. Действительно, сколько раз ни измеряй, например, углы при основании равнобедренного треугольника, нельзя быть абсолютно уверенным в том, что они равны: всякое измерение имеет некоторую погрешность. Другое дело – логическое доказательство: любой скептик может самостоятельно проследить все его этапы и убедиться в его неопровержимости. Бесспорность логических доказательств настолько очевидна, что вслед за математиками к нему стали обращаться представители других наук и философы.

Итак, причину «отрыва» греческой науки от эмпирического знания следует искать в сочетаниях указанных выше факторов (а не в особенностях греческого характера – рационализме, ясности ума, математической одаренности, как это считают некоторые исследователи).

2. Даже беглый обзор естественнонаучных достижений Древней Греции и Древнего Рима говорит явно не в пользу последнего. Единственное существенное достижение естествознания в древнеримский период – создание геоцентрической системы Птолемея. Однако следует учесть, что Птолемей был греческим ученым, работавшим в Александрии – крупнейшем научном центре античного мира, создание и расцвет которого пришлось на эпоху эллинизма. Единственным крупным философом древнеримского периода, внесшим весомый вклад в осмысление мироздания, считается Лукреций. При этом основное «детище» Лукреция – атомистическая теория – является лишь некоторым дополнением к теории, созданной в Древней Греции Демокритом.

Древнеримская культура создавалась под большим влиянием эллинизма. К середине II в. до н.э. большая часть земель по берегам Западной части Средиземного моря и на Балканском полуострове оказалась включенной в состав Римской державы. Со всех концов эллинистического мира в Рим свозились сочинения греческих авторов, а также картины, статуи и другие произведения искусства. Знакомство с бытом, нравами и культурой эллинистических стран коренным образом преобразовали экономическую и социальную жизнь Рима. В результате неизмеримо возросла тяга римлян к греческой культуре. Греческий язык был известен многим образованным римлянам и широко использовался при обсуждении вопросов философии, математики, астрономии, а также литературы и искусства. Знатные люди приобретали педагогов-греков, учивших их риторике, философии, литературе на греческих образцах. Рабы, привозившиеся из эллинских городов Греции и Южной Италии и имевшие хорошее образование или высокие профессиональные навыки, использовались не только как искусные земледельцы и ремесленники, но и как управляющие хозяйством, педагоги, врачи, музыканты, актеры. За таких рабов платились большие деньги. Даже римские боги стали отождествляться с греческими богами: Юпитер с Зевсом, Юнона с Герой, Либер с Вакхом, Венера с Афродитой, Диана с Артемидой, Меркурий с Гермесом. У греков были заимствованы и новые для римлян боги, например, Аполлон и Геракл. Вместе с этими богами пришла и греческая мифология, приуроченная к соответствующим римским божествам. Римляне постепенно приобщались к той системе понятий и представлений, которые сформировались за долгий период развития греческой философии. Одним из таких кардинальных представлений была идея гармонии. Однако если главной целью греков было объяснение гармонии Вселенной, римлян больше интересовали вопросы устройства государства, в котором они живут, – можно сказать, что государство выступало для них в качестве модели космоса. Это обстоятельство вполне объяснимо общественно-политической ситуацией того

времени. Действительно, на протяжении нескольких столетий Рим постоянно расширял свои владения. В период своего расцвета Римская империя включала в себя территории современной Италии, Испании, Португалии, Греции, Австрии, Франции, Англии, Бельгии, Швейцарии, а также значительную часть территорий современного Египта, Турции, Месопотамии. Со всех этих мест в Римскую державу шел бесконечный поток материальных ценностей и рабов. Римляне чувствовали себя хозяевами мира, и этот мир им надо было упорядочить. Именно этим можно объяснить то внимание, которое римляне уделяли вопросам политики, этики, государства и права. Непрерывно развивается теория и практика юриспруденции; создается правовая система, вошедшая в юридическую науку под названием «римское право». Наряду с практическими приложениями римского права, юристы вырабатывали также основные теоретические положения – о видах собственности, договоров, контрактов, исков. Интересы римских ученых и философов все больше смещались в практическую плоскость: юриспруденция, политика, этика, военное искусство, география, земледелие, гидротехника, а также строительство – храмов и дворцов, дорог и мостов, каналов и акведуков. Наука перестала играть конституирующую роль в мировоззрении философов, заставляющую их обращаться к математике, астрономии, космогонии и вообще к естествознанию, как это было у древних греков. Так, римский философ и придворный императора Нерона Луций Анней Сенека (6 до н.э. – 65 н.э.), автор компилятивного труда «Вопросы естествознания», посвященного небесным и атмосферным явлениям, сделал из изложенного единственный практический вывод о возможности предсказания будущего по ударам молнии и положению звезд, поскольку все в мире взаимосвязано. И вскоре астрология почти полностью вытеснила астрономию: к ней обращались все, начиная от императоров и кончая рядовыми гражданами. Предпочтение стали отдавать не исследованиям, а компиляциям энциклопедического типа. В I в. наибольшей известностью пользовались компиляции, которые составили Корнелий Цельс и Плиний Старший. Но с течением времени такие труды все больше приобретали характер легкого чтения. Наука продолжала жить и развиваться только в Александрии, где еще соблюдались старые традиции, заложенные в III в. до н. э. Там жили и творили крупные ученые последних веков античности, главным образом, математики и медики (из последних наибольшей известностью пользовался Гален, ставший впоследствии врачом Марка Аврелия). В I в. там работал выдающийся математик, изобретатель и инженер Герон. В конце I в. Менелай Александрийский написал труд по сферической геометрии и усовершенствовал таблицу дуг, составленную знаменитым математиком и астрономом древности Гиппархом. К началу и середине II в. н. э. относится разносторонняя деятельность Клавдия Птолемея. В III и IV вв. в Александрии жили выдающиеся математики Диофант и Папп. Александрийская математическая школа просуществовала до VI в. н. э. Однако достижения этой школы, относящиеся к последним векам античности, были оценены лишь учеными будущих поколений.

3. В чем же причины кризиса античной науки? Их надо искать в причинах кризиса античной культуры и всего античного общества в целом. Вот что пишет по этому поводу известный историк науки Джон Бернал: «Резкий упадок науки, имевший место во времена первых римских императоров, принято приписывать духу практицизма римлян. Гораздо вероятнее, что причины такого упадка были более глубокими – они коренились в общем кризисе классического общества, явившемся результатом концентрации власти в руках небольшой кучки богатых людей». Экономические причины кризиса – противоречие между постоянно увеличивающимися потребностями населения и невозможностью повысить производительность рабского труда в такой степени, чтобы эти потребности удовлетворить. Следствием этого явилось усиление противоречий между городом и деревней, толкавшее эксплуатируемым городом крестьян на борьбу с городскими собственниками; усилился финансовый кризис, вызванный постоянной утечкой золота на Восток, откуда ввозились в империю предметы роскоши. Все это привело к подрыву экономики античного города, на котором основывалась империя. Наряду с экономическими, были и политические причины кризиса. Тяжелые войны с соседними племенами и народами, вторгавшимися в империю, перемежались почти не прекращающимися гражданскими войнами между различными претендентами на престол, между императорами и восставшими против них провинциями. В связи с общим ухудшением положения Римской империи и крайним обострением социальных противоречий значительно усилился идеологический нажим сверху. Недоверие стали вызывать не только инакомыслящие, но и вообще мыслящие. Репрессии с сенатских кругов распространились на все слои общества. Повсеместное ухудшение условий существования основной массы населения, упадок моральных и этических норм привели к тому, что как языческое многобожие, так и насаждавшийся сверху культ императоров перестали удовлетворять духовные запросы общества. В низах все больше созрел протест против существующего уклада жизни; этот протест получил свое выражение в возникновении новой религии – христианства. Образом Иисуса Христа, сына всемогущего Бога, воплотившегося в сына плотника и принявшего рабскую казнь во искупление грехов человечества и ради его спасения, христианство ответило на потребность масс в положительном идеале. Оно соединило надежду на личное бессмертие с идеей всеобщего спасения и обновления в «царствии божьем». Зародившись в начале I в. н. э. в восточных провинциях Рима среди рабов и вольноотпущенников, христианство стало быстро распространяться на все слои населения. Прилив в христианские общины интеллигенции, представителей средних и верхних кругов способствовал формированию крепнущей церковной организации и привел к усложнению христианского вероучения за счет его приспособления к античной философии. Во II-III вв. складывается первая христианская богословско-философская литература. Формируется христианское искусство. Правительство, которое первоначально не обращало на

христиан особого внимания, начинает принимать против них решительные меры: нежелающих отречься казнят, ссылают в рудники, конфисковывают их имущество. Однако постепенно правители Рима начинают осознавать, что борьба с христианством бесполезна, а проповедуемые им идеи покорности, непротивления злу, незначительности земного бытия по сравнению с загробной жизнью могут быть использованы как инструмент подавления народного недовольства. В начале IV в. император Константин прекратил гонения на христиан. В 313 г. Миланским эдиктом было признано равноправие христианства с язычеством. К концу своего правления Константин принял крещение и перенес столицу на восток империи в Византию, основав там новый город – Константинополь. С этого времени христианство становится официальной доктриной империи, и все творческие силы общества устремляются в те области, которые оказались связанными с господствующей идеологией. Античная культура постепенно вырождается. Начинается новая эпоха в истории мировой культуры.

Античная культура была сильна, пока была жизнеспособна породившая ее социально-экономическая система. Она стала приходить в упадок по мере того, как рабовладельческая формация исчерпывала возможности своего прогресса.

4. Давая общую характеристику вклада античности в формирование современной науки и культуры, необходимо подчеркнуть следующие положения.

А) В Древней Греции впервые сформировались представления о мире как целостном единстве – мироздании.

Сотворение мира греки представляли как превращение беспорядочного хаоса в упорядоченный космос (от греч. «косм» – порядок). Порядок есть выражение некой первоначальной сущности, которая разными философами понималась по-разному, что приводило к разным картинам мира. Пифагор в основе этих сущностей видел числа, понимая гармонию природы как выражение гармонии числовых отношений. В философии Платона миром первоначальных сущностей служит мир идей, в то время как чувственный мир является лишь его бледной тенью. Основатели атомистической картины мира Левкипп и Демокрит сущность мира сводили к сочетанию и движению мельчайших частиц – атомов. Развивая учение Демокрита, Эпикур пытался к комбинациям атомов свести также явления социальной и психической жизни. Аристотель дал материалистическую картину мира, в которой причины развития мира заключены в нем самом (хотя материя и ее движущее начало – форма – у него разделены).

Б) *В лоне античности вызревали многие философские и методологические идеи, ставшие впоследствии фундаментальными научными принципами.*

Наиболее важные из них – идея материальности мира (Аристотель), идея бесконечного развития (Гераклит), атомистическая идея (Левкипп, Демокрит), принципы дедуктивных рассуждений (Фалес, Пифагор, Аристотель), аксиоматический метод («Начала» Евклида). В античную эпоху был высказан ряд гениальных догадок: достаточно упомянуть идею Анаксимандра о бесчисленном количестве миров, гелиоцентрическую гипотезу Аристарха, мысли о саморазвитии мира Аристотеля. Некоторые из этих идей оказались слишком смелыми для своего времени и превратились в научные положения лишь много веков спустя.

В) *С VI в. до н.э. в Древней Греции начинает зарождаться наука.*

Основные черты научного знания – системность, рациональность, доказательность, фундаментальность – уже присущи античному знанию. В Древней Греции представления о природе складывались в рамках единой науки – *натурфилософии*, в которой ещё не было дифференциации знания на отдельные области, всё было слито воедино на базе некоторой философской системы. Основным методом натурфилософии – переход к обобщениям на основе созерцания природы как единого целого.

Именно поэтому древним грекам не удалось создать естествознание – комплекса наук о природе, которые базируются на эксперименте и используются на практике. Да они к этому и не стремились. Для древнегреческих философов главная цель познания состояла не в получении практически полезных результатов, а в постижении истины. Древние греки полагали, что способом добывания истины является «*матема*» – точное знание, возникающее в процессе идеального мыслительного эксперимента (отсюда впоследствии возник термин «*математика*»). Что касается «натурного» эксперимента, – греки относились к нему пренебрежительно, считая его уделом «ремесленников». В силу этого обстоятельства древнегреческая наука по своему характеру была абстрактно-умозрительной: в ней нет применения теории к практике, нет математизации физики, незначительно экспериментальное начало. Критерии достоверности (истинности) знания также лежат вне практики – это непротиворечивость, краткость, простота и красота доказательства. И все же, несмотря на все это, именно античная мысль способствовала появлению современной науки, зарождение которой относится к XVI-XVII вв. А все научные направления Нового времени: математика, механика, астрономия, оптика, биология, медицина – развивались на фундаменте, заложенном в Древней Греции.

Г) *Если деятельность древних греков, способствовала подъему духовной культуры, усилия римлян были направлены, главным образом, на развитие ма-*

териальной культуры. В эпоху развития Римского государства ее многочисленные провинции в Европе и Северной Африке подверглись сильной романизации. Одним из ее последствий явилось то, что достижения римлян в области естествознания, техники, философии, истории, юриспруденции, изобразительных искусств стали известными далеко за пределами Рима. Широко распространились достижения римлян в строительстве и архитектуре. При оценке воздействия культуры Римской империи на современную цивилизацию необходимо учитывать, помимо сказанного, также то обстоятельство, что большая часть современного мира говорит на языках, возникших из латинского, а латинским алфавитом пользуется подавляющее большинство современных государств.

Тема 2: Противостояние науки и религии в Средние века и в эпоху Возрождения

- 2.1. Духовная жизнь Европы в Средние века.*
- 2.2. Наука и культура в странах Востока.*
- 2.3. Западноевропейская наука и философия в Средние века.*
- 2.4. Эпоха Возрождения. Зарождение экспериментального естествознания. Гелиоцентрическая система Коперника.*

2.1. Духовная жизнь Европы в Средние века

После заката греко-римской цивилизации (V в. н.э.) в Европе почти на тысячу лет воцарилось Средневековье. Условия феодализма при господстве натурального хозяйства и ограниченности торговли не стимулировали развития научного знания. Вся духовная жизнь общества определялась церковью. Церковь подчинила себе философию, мораль, науку и искусство. В эпоху Средневековья основная направленность общественной мысли состояла в поиске иллюстраций к нормам морали и религии. Процветали и развивались такие специфические области знания, как астрология, алхимия, магия, схоластика. Любые проблемы, в том числе естественнонаучные, привязывались к толкованию текстов Священного Писания. Роль науки сводилась к решению чисто практических задач. Она утратила одно из самых ценных качеств античной науки – познание истины ради самой истины.

В Средние века мировоззренческие вопросы также решались не наукой, а теологией (философским учением о Боге). Весьма важным для средневекового мышления был догмат о сотворении мира Богом из ничего, что противоре-

чит миропониманию эпохи античности. Отсюда непосредственно вытекает *телеологизм* – истолкование всего существующего и происходящего как исполнение заранее predetermined целей. Считалось, что Бог всемогущ и может в любой момент вмешаться в естественный ход природных процессов. *В средневековой картине мира не было концепции объективного природного закона, поэтому мыслители той эпохи искали не связи между явлениями, а отношения между явлением и Богом.* Именно в этом ключ к пониманию того, почему естественнонаучная мысль средневековья не могла получить сколько-нибудь существенного развития.

И действительно, в отличие от античности, Средневековье не предложило фундаментальных научных программ. Появляются лишь новые интерпретации (толкования) ранее существующих учений.

Итак, в целом в Средние века в Европе происходит – по сравнению с эпохой античности – глубокий упадок научного знания (особенно это касается естественных наук). Однако не следует, как это было принято еще несколько десятилетий назад, рассматривать Средневековье только как эпоху регресса и застоя, а всю деятельность церкви сводить к подавлению науки и прогресса. В настоящее время оценки этого важного периода развития истории стали более взвешенными. В частности, в современных исследованиях отмечается, что усиление роли религии в жизни общества в ту эпоху логично рассматривать не как причину «мрака», а, скорее, как его следствие: возникшее в I в. христианство и позднее, в VI-VII вв. ислам создавали в обществе определенное согласие, являясь важным стабилизирующим фактором. Церкви и монастыри обеспечивали необходимый уровень грамотности и образования. В монастырях создавались монастырские библиотеки, сохранявшие научное наследие. Кроме того, религия способствовала воспитанию нравственности, формированию идеалов добра и справедливости. Начиная с VI в. при монастырях и церквях Западной Европы существовали школы, которые давали наряду с церковным, также светское образование. (Первоначально в него входили грамматика, риторика и диалектика, составляя так называемый «тривиум». Впоследствии к ним добавилась арифметика, геометрия, астрономия и музыка, составлявшие «квадриум».) Именно из монастырских школ впоследствии возникали университеты.

Западная Римская империя прекратила свое существование в 476 г., но еще почти тысячу лет существовала Восточная Римская империя – Византия, в которой христианская религия была опорой государственной власти. В библиотеках монастырей Константинополя хранилось наследие античности: поэмы Гомера, труды Аристотеля.

2.2. Наука и культура в странах Востока

В VII–XII веках наблюдается всплеск развития науки и культуры в странах Ближнего и Среднего Востока. В этот период происходит возвышение Арабского халифата – арабо-мусульманского феодального государства, в котором халиф является и духовным, и светским главой.

- В образовании Халифата выдающаяся роль принадлежит одному из первых проповедников ислама – пророку Мухаммеду (570-632 гг.), которого в европейской литературе обычно именуют Магометом. Основные идеи ислама изложены в Коране, священной книге мусульман. Первым и основным догматом веры в исламе является вера в единого бога – Аллаха. Аллах управляет миром единолично, и без его ведома в мире не совершается ничего. Подобно тому, как одним повелением бог сотворил небеса, землю, горы, реки, растительный и животный мир, он, по представлениям мусульман может в любой момент изменить ход истории, нарушить законы природы, ибо Аллах всемогущ.

В IX веке в состав халифата входил весь Аравийский полуостров, а также территории современного Ирана, Ирака, Сирии, Египта, большая часть Закавказья, Средней Азии, Северной Африки, Пиренейского полуострова. Усвоив и переработав значительную часть культурного наследия персов, сирийцев, иудеев и других народов, входивших в состав Арабского халифата, арабы достигли больших успехов в различных областях знания (астрономии, математике, медицине, географии, логике, философии, истории). Интенсивно развивались архитектура, орнаментальное искусство, художественные ремесла. В X в. произошел распад Халифата на ряд самостоятельных государств, однако и после этого арабская культура не потеряла своего значения. Арабо-испанская цивилизация с центрами в Кордове, Севилье, Малаге и Гранаде имела большие достижения в философии, естественных науках, медицине, литературе, искусстве и архитектуре.

Высшие государственные должности в арабском мире занимали только образованные люди: философы, астрономы, математики, литераторы, врачи. Всюду собирались рукописи, организовывались библиотеки. Был издан закон, по которому ни одна мечеть не могла быть построена без школы при ней. Эксперименты, произведенные арабскими учеными, привели ко многим замечательным открытиям в химии: был открыт фосфор, найден способ производства чистого алкоголя и серной кислоты. Медицинская практика, которая у христиан была сосредоточена в руках духовенства, на Востоке осуществлялась арабскими и еврейскими врачами, сторонниками материалистического взгляда на мир.

Определенное влияние на развитие научных исследований в странах Ближнего и Среднего Востока оказала индийская наука. Исследуя написанные на санскрите индийские математические тексты, арабские ученые сделали два важных открытия, с которыми они впоследствии ознакомили Европу. Это – *позиционная десятичная система счисления* (включающая концепцию нуля), а также *тригонометрия*, оперирующая понятием синуса. Ученые, работавшие в

Багдаде, стремились соединить античную астрономию с индийскими учениями, а также с трудами, распространенными в доисламском Иране. Значительное место в арабской астрономии занимали *зиджи* – сборники астрономических таблиц, с помощью которых решались различные практические задачи (вычисление положения светил на небесной сфере, определение времени солнечных и лунных затмений и т.п.).

Арабы унаследовали также значительную часть древнегреческой культуры; в частности, на арабский язык были переведены «Начала» Евклида, три тома «Конических сечений» Аполлония Пергского, а также знаменитая книга Птолемея. Перевод работы Птолемея на арабский язык способствовал развитию астрономии. В Багдаде и Дамаске были сооружены астрономические обсерватории, в которых велись систематические наблюдения Солнца, Луны и планет. В IX веке в сирийской пустыне были произведены измерения дуги меридиана. Увеличилась точность наблюдений – как за счет прогресса техники (например, использования сферических и параболических зеркал), так и за счет развития математики, в частности, тригонометрии и геометрической оптики.

Математические и астрономические исследования на Востоке стимулировались, в частности, потребностями географии. Путешествия по суше и по морю требуют знания маршрута и умения ориентироваться на местности, в первую очередь, определения широты и долготы. Средневековые ученые Ближнего и Среднего Востока внесли определенный вклад в развитие математической географии, основы которой были заложены еще в античности. Важнейший географический труд той эпохи – сочинение Аль Хорезми «Книга картины Земли» (ок. 840 г.). В нем содержалось первое на арабском языке подробное описание известной в то время части Земли. Следует отметить, что ранее арабы располагали лишь некоторыми практическими познаниями в области географии. Эти познания не были объединены в систему и относились, в основном, к Аравийскому полуострову.

- Аль Хорезми (787-850 гг.) – выдающийся математик и астроном Средневековья. В IX веке в Багдадской академии, известной как «Дом мудрости», Аль Хорезми создал ставший впоследствии знаменитым, труд под названием «Книга о восстановлении и противопоставлении» («Китаб аль джебр валь-мукабалах»). Эта книга заложила основы новой важной главы математики – алгебры. Используемый в данной работе основной метод изложения позже был назван алгоритмическим – от латинизированной фамилии Аль Хорезми – *Algorithmi*. «Книга о восстановлении» в XII веке была переведена на латинский язык и долгое время являлась основным руководством по изучению алгебры в Европе. Аль Хорезми разделил часть Земли, считавшуюся обитаемой (ойкумену), на 7 «климатов» – широтных поясов, отличающихся один от другого продолжительностью суток в день летнего солнцестояния на $\frac{1}{2}$ часа. В его труде «Книга картины Земли» для каждого «климата» указаны координаты городов, дано описание гор, островов, морей и рек. Значительный вклад Аль Хорезми внес также в развитие астрономии, географии, геодезии и картографии.
- Один из крупнейших мыслителей феодального Востока – Ибн-Сина (латинизированное имя – Авиценна, 980-1037 гг.). Он был философом, естествоиспытателем, врачом

и писателем. Наибольший вклад Ибн-Сина внес в медицину. В его главном сочинении в этой области «Канон врачебной науки» обобщен врачебный опыт Древней Греции, Древнего Рима, Индии, Средней Азии. Неоднократно переводившийся на латинский язык, «Канон» стал основным учебником по медицине в европейских университетах. Ибн-Сина изучал многие вопросы естествознания: движение тел, свойства минералов, состав метеоритов, причины образования гор, происхождение живых существ, строение растений и животных.

- Крупным арабским философом-естествоиспытателем средних веков являлся Ибн-Рушд (Аверроэс, 1126-1198). Он был сторонником идей Аристотеля, при этом наибольший интерес у него вызывали вопросы естествознания. Ибн Рушд считал материю вечной, отвергая религиозный постулат о сотворении материи богом. Аверроэс утверждал, что существуют две истины: одна принадлежит вере, а другая – «рациональной философии». Для эпохи средневековья такое разделение было важным, так как позволяло науке оставаться в иной плоскости по отношению к богословию.

Арабы ввели в употребление цифры, которые используются до настоящего времени; благодаря торговле они быстро распространились по миру, вытеснив неудобную римскую систему обозначений. Арабский язык становится общепризнанным языком науки. Расцвет арабской культуры приходится на VIII–XI века.

Оценивая в целом вклад ученых Востока в развитие естествознания той эпохи, следует сказать, что хотя они основывали свои исследования на прочном фундаменте, воздвигнутом в Древней Греции, и достигли определенных успехов, им не удалось продвинуться в понимании структуры Вселенной в такой мере, как грекам.

2.3. Западноевропейская наука и философия в Средние века

В Средние века мышление европейцев формировалось вместе с христианской цивилизацией. Примерно до XII в. католичество, стоявшее в центре культурной жизни Западной Европы, ориентировалось на «субъективную философию» Августина Блаженного (354-430 гг.), который принадлежал к так называемым «отцам церкви», т.е. церковным деятелям, создавшим ее догматику и основы организационной структуры. Он проповедовал, в частности, принцип главенства католической церкви, под сенью которой должна быть создана «вечная мировая божья держава».

В трудах и высказываниях Августина представлена доминирующая роль религии как формы постижения бытия. Его взгляды явились основополагающими для теоретической христианской теологии и проповедаются до настоящего времени в рамках современного неотомизма.

Августин отверг постановку вопроса о возможности существования времени *до* акта творения. (В ответ на вопрос: «Чем занимался Бог до шести дней творения?» Августин ответил: «Готовил ад для тех, кто осмелится задать такой вопрос».) Следуя Платону, он считал, что пространство и время являются

атрибутами (обязательными свойствами) материального бытия, но не Бога. Пространство и время были сотворены вместе с материей и вместе с ней они должны когда-нибудь исчезнуть. Категория времени к Богу неприменима: Бог пребывает не во времени, а в вечности, где все части тождественны между собой. В момент творения Бог изменил логику своего бытия – он прервал вечность, наполнив некоторый ее отрезок конкретным временным содержанием. При этом и после акта творения он сам остался вневременным и внепространственным существом. Время характеризует возникновение, изменение и гибель всех конкретных форм, а Бог – как беспредельная и абсолютная сущность – не может возникнуть или исчезнуть; он обладает бесконечным совершенством, а потому неизменен во всех своих атрибутах. После того, как мир погибнет, снова исчезнут пространство и время, и опять наступит вечность в ее абсолютной форме. Августин отходит от антропоморфной трактовки Бога, считая, что, поскольку Бог есть бесконечная сущность, он не может иметь тела, подобного телу человека. Бог трансцендентен, т.е. недоступен человеческому восприятию, и может быть понят только через сверхъестественное откровение.

В эпоху позднего Средневековья теологические учения о Вселенной основывались на аристотелевской геоцентрической модели, отрицающей бесконечность мира – как в пространстве, так и во времени. Однако даже в рамках религиозно-схоластических взглядов догмат о конечности мира был поставлен под сомнение итальянским богословом и кардиналом Николаем Кузанским.

Средневековая христианская философия, главной целью которой было обоснование религиозных догматов, получила название *схоластика* (от греч. *shole* – школа). Схоластика делится на три периода: ранняя (V-XI вв.), зрелая (XII-XIII вв.) и поздняя (XIV-XV вв.).

Ранние схоласты-философы пытались дать ответы на вопросы о существовании Бога, его сущности, о нравственности и т.п. Схоласты старались утвердить положение о духовном, бестелесном характере Бога, но уже сама лексика позволяла христианам представлять себе Бога конкретно. Нужно было решать двойную проблему: сохранить тезис о божественной нематериальности, не задевая при этом наивных верований в реальное (или, как тогда было принято говорить, в субстанциональное) бытие Бога. Стремление примирить оба представления о Боге и божественном было сосредоточено, например, в таких вопросах:

- *Сущность духа отлична от его существования?*
- *Божество существует в воображаемом или действительном пространстве?*
- *Могут ли ангелы переходить из одной точки пространства в другую, не переходя промежуточных точек между ними?*
- *Сколько ангелов может уместиться на острие иглы?*

В бурных и долгих спорах схоластов – реалистов и номиналистов – обсуждался вопрос об *универсалиях* (идеальных, общих понятиях): первые отстаивали их реальное (онтологическое) существование, в то время как вторые признавали их только в мышлении (в качестве имен или символов единичных сущностей).

В целом для схоластики характерным является дедуктивное мышление и ориентация на авторитеты. Аргументами в дискуссиях служили цитаты, которые играли роль единиц языка. Таким образом, схоластика противоположна как опытной науке, так и мистическому познанию. В зрелой схоластике происходит переориентация на Аристотеля, что позволило строить более четкую и конкретную логику понятий. Переход от ранней схоластики к зрелой был связан с рядом исторических событий, произошедших в Европе в XII–XIII веках.

В этот период страны Западной Европы благодаря, в первую очередь, росту торговли пришли в соприкосновение с арабской цивилизацией, что привело к взаимопроникновению Западной и Восточной культур. Значительную роль в этом процессе сыграли также крестовые и паломнические походы, оказавшие большое влияние на развитие феодальной Европы. В результате этих явлений ускоряется отделение ремесла от земледелия, усиливается развитие товарно-денежных отношений. Расширение кругозора европейцев содействовало ослаблению авторитета церкви.

Через страны Востока европейцы познакомились и с достижениями античной науки и культуры. В XII веке на латинский язык переводится главный труд Птолемея «Математическая система», получивший название «Альмагест» (греческий оригинал был утерян и перевод осуществлялся с арабского, носившего название «Аль-мегисте»). На грани XII–XIII веков на латынь переводятся сочинения Аристотеля. Философия Аристотеля была приспособлена к христианской теологии, и его взгляды стали неотъемлемым элементом христианского миропонимания, составив основу зрелой схоластики. Геоцентрическая система Птолемея стала как бы дополнением к аристотелевой картине мира. В ту эпоху в странах Европы наблюдается стремление примирить христианское учение с рациональными подходами античности. В частности, математический характер работ греческих ученых рассматривался представителями церкви как «подкрепление» господствующего в Средние века католического вероучения, в соответствии с которым мир был сотворен Богом. Для совмещения рациональных подходов с догматами церкви была введена концепция «двух истин», существовавшая почти тысячелетие. Согласно ей утверждалось, что догматы веры «сверхразумны» и составляют область «высших истин», в то же время допускалась возможность и для «истин разума».

Учение Аристотеля вошло в средневековую философию и культуру благодаря деятельности знаменитого философа, теолога и алхимика Альберта Великого (1193–1280). Он оказал большое влияние на формирование взглядов святого Фомы Аквинского (1225–1274), труды которого способствовали примирению религии с наукой и в дальнейшем превратились в официальную доктрину

католической церкви. Фома Аквинский полагал, что существует два пути к одной великой истине: разум – логическая переработка данных, полученных чувствами, и вера – изучение и восприятие откровений церкви. Он не видел противоречия между этими двумя путями, поскольку считал, что вся истина диктуется Богом. В соответствии с взглядами Фомы Аквинского философы Средневековья развивали учение об актуальной бесконечности Бога (как бесконечного множества всех совершенств) при потенциальной бесконечности природы.

Среди поздних схоластов наиболее известен У. Оккам (1285–1349), предложивший методологический принцип «бритвы Оккама»: «сущности не следует умножать без необходимости». В современной терминологии этот принцип может быть сформулирован следующим образом: понятия, которое не поддаются опытной проверке, должны быть удалены из науки.

Научная мысль средневековья созревала в монастырях. Зачатки науки были связаны с оккультными дисциплинами – астрологией и алхимией. «Отцом» индуктивного и экспериментального методов естествознания считается монах-францисканец Роджер Бэкон (1220–1292), который выступил с резкой критикой церковной схоластики, утверждая, что в основе изучения природы должен лежать опыт. Бэкон занимался опытным изучением природы (в том числе оптикой, механикой, астрономией, конструированием машин и механизмов). Его сочинение «Об опытной работе» в значительной степени посвящено проблемам эксперимента в физике и в оптике.

Большое значение в развитии духовной жизни Европы имело возникновение университетов: первыми университетами явились Болонский (1119 г.) и Парижский (1150 г); в 1167 г. был создан университет в Оксфорде, в 1209 г. в Кембридже, в 1347 г. – в Праге, в 1364 г. – в Кракове, в 1365 г. – в Вене. Как правило, в средневековых университетах было три факультета: богословский, юридический и медицинский, а основной задачей была подготовка духовенства. В дальнейшем появились факультеты, где изучались геометрия, астрономия, физика, грамматика, философия и некоторые другие науки. В XIII–XIV вв. в полемике с античными авторами рождались идеи, подготовившие возникновение новой физики, использующей математику, возникают зачатки науки о движении. К середине XIV в. в Мертонском колледже Оксфордского университета оформилось направление, которое развивало философию номинализма в плане изучения явлений природы. Значительной фигурой этого периода был оксфордский математик Томас Брадвердин (1290–1349). В своем трактате «О пропорциях» он предпринял первую попытку систематизации научных идей на математической основе. Одним из достижений Брадвердина было введение понятия мгновенной скорости, а также общей меры для кругового и прямолинейного движения. На базе исследований Брадвердина возникло целое поколение оксфордских ученых (получивших имя *калькуляторов*), которые исследовали проблемы, связанные с традиционными понятиями аристотелевской физики. Дальнейшее развитие идей ученых Мертонского колледжа получило в работах

представителей парижской школы, в частности, Жана Буридана (1297-1357), Альберта Саксонского (1316-1390), Николая Орема (1325-1382). Научная мысль XIII-XIV вв. концентрируется, главным образом, вокруг двух университетских центров – Парижского и Оксфордского.

Как же следует оценивать в целом Средневековый этап истории западно-европейской науки? Несмотря на происходившие в это время сложные и противоречивые социально-исторические процессы, несмотря на засилье и диктат церкви, наука продолжала развиваться. В Средневековье не было крупных естественнонаучных достижений, не было фундаментальных научных программ. Интенсивно развивались лишь оккультные науки. Но интерес к астрологии подготовил будущее развитие астрономии, а алхимия стимулировала появление химии. (Заметим, что алхимия являла собой не просто предшественницу химии – это была философская система. Ее основой служило представление о том, что вся Вселенная заполнена знаками и символами, распознав которые, человек сможет проникнуть в тайны природы и управлять ей.) Начинается математизация физики. Привычка к изолированным схоластическим спорам способствует развитию логики, а искусство аргументации порождает идею доказательности. Внедрение логического мышления явилось, выражаясь словами К.Г. Юнга, «беспрецедентным интеллектуальным тренингом», приведшим в дальнейшем к появлению абсолютного доверия к логике и математике, а также к основанным на них положениям и теориям. Именно в Средневековье возникает идея экспериментальной проверки физики и механики, хотя сами эти науки трактуются как «постижение божественного замысла». Средневековье не создало новых научных программ и концепций, но оно сохранило и провело через целое тысячелетие ведущие идеи античной мысли, трансформировав их в соответствии с догматикой религиозных учений. Таким образом, в Средние века в религиозно-схоластической оболочке формировались методологические принципы естественнонаучного мышления последующих эпох. Говоря кратко, средневековая схоластика подготовила почву для европейского рационализма.

2.4. Эпоха Возрождения.

Зарождение экспериментального естествознания.

Гелиоцентрическая система Коперника

Эпоха Возрождения – период времени (XIV–XVI века), когда старую культуру средневековой Европы сменяет новая культура. Характерными ее чертами являются следующие.

Восстановление интереса к античности и античным ценностям (отсюда происходит название эпохи – *Возрождение* или *Ренессанс*). Еще в период, предшествующий Возрождению, европейцы познакомились с трудами античных авторов – важнейшими из них были сочинения Аристотеля, Евклида,

Птолемея. Интерес к памятникам античной культуры особенно велик был в Италии, где античные традиции сохранялись, до некоторой степени, в течение всего Средневековья. Итальянские писатели и ученые разыскивали забытые труды греческих и римских авторов, устанавливали подлинные тексты взамен тех, которые были сознательно искажены в Средние века. Эти труды распространялись и читались по всей Европе. В европейских университетах создавались кафедры древних языков. Европейцы восприняли не только стиль, но и философское, научное и историческое содержание работ античных мыслителей. В целом эпоха Возрождения – это не просто возрождение античной культуры, – она явилась поиском новой культуры, адекватной буржуазному образу жизни, и сопровождалась мощным духовным подъемом.

Начало формирования экспериментального естествознания. Научные достижения Средних веков были весьма незначительными. В XIV-XV веках в Европе начинается рост производства. Расширяется торговля, развивается мореплавание, происходят географические открытия, совершенствуется военное дело. Все это приводит к накоплению в огромных масштабах эмпирического материала. Проблемы, связанные с плаванием в открытом море за тысячи миль от берега, поиск новых источников сырья, развитие военного дела, – все это ставило новые задачи и создавало благоприятную атмосферу для развития научных исследований. Наука, которая в Средние века находилась под властью церкви, носила абстрактно-схоластический характер и была совершенно оторвана от практики, теперь получает мощный импульс для своего развития.

К началу XVI в. провозглашенная греками цель науки – изучение явлений природы с помощью математики – начинает проникать в сознание европейцев. Но если греки верили в математические принципы, лежащие в основе мира, то мыслители Средневековья приписывали все происходящее в природе воле христианского бога, который считался творцом Вселенной. Таким образом, греческое учение о математических принципах устройства Вселенной оказалось в противоречии с догматами католической церкви. Примирить это противоречие могло только одно: принятие тезиса, что при создании Вселенной Бог мог руководствоваться математическими идеями. В результате доктрина католической церкви, согласно которой первостепенным является постижение божественного замысла и божественной воли, привела к поиску математического плана, по которому Бог создал Вселенную. Поиск естественных причин для объяснения явлений природы, использование опыта как средства научного познания способствуют становлению экспериментального естествознания. В отличие от единой науки античности – натурфилософии – начинается процесс дифференциации научного знания, отделения наук друг от друга, что приводит к гораздо более глубокому проникновению в тайны природы.

Основное место среди наук того времени занимает *механика* (изучается движение различных тел, строительная механика, работа машин и

механизмов), а также *астрономия* (уточненные наблюдения за движением небесных тел).

Все большую роль в исследовании происходящих в природе явлений играют математические методы. Изучаются задачи нахождения центра тяжести, законы баллистики, проблемы гидростатики и гидродинамики. Развитию математики способствуют также происходящие в обществе экономические и социальные процессы: рост городов, развитие торговли и банковского дела. Многие математики работают в «счетоводных лавках», где производятся торговые операции, составляются контракты, решаются банковские проблемы, касающиеся цен, обмена, обращения и стоимости денег, а также распределения прибыли.

В XVI веке европейские учёные начинают постигать природу магнетизма. Было обнаружено магнитное поле Земли. В мореплавании внедряется магнитный компас. Географические открытия способствуют развитию географии, ботаники, зоологии, геологии. Совершенствуются географические карты и глобусы, создаются первые естественнонаучные музеи (в основном, при королевских и княжеских дворцах). Медицина постепенно освобождается от средневековых догм о «таинственных силах», под непрерывным влиянием которых якобы находится человек, и начинается изучение процессов, происходящих в человеческом организме. Параллельно с медициной развивается химия, увеличивается производство лекарств химическим способом. Большую роль в распространении научных знаний той эпохи сыграло изобретение книгопечатания Иоганном Гутенбергом (середина XV в.).

Эмпирические познания, постепенно накапливавшиеся в эпоху Средневековья, привели к изменению представлений о соотношении веры и разума в картине мира. Если в раннем Средневековье религия доминировала над научным знанием, в XIII в. они признавались равными, то в эпоху Возрождения разум был поставлен выше откровения. Начинает стираться граница между наукой как постижением высших сущностей и практически-технической деятельностью.

Естествознание XV–XVI веков, связанное с производством и практикой, ослабило влияние церкви и привело в дальнейшем к пересмотру философских представлений о мире, которые сложились в эпоху Средневековья.

Расцвет искусства и возникновение идеологии гуманизма. Впервые после тысячелетнего господства религии было выработано новое мировоззрение, которое в центр мира ставит не Бога, а человека. В феодальном обществе личность была подавлена религиозными предписаниями и ограничениями; проявление самостоятельной мысли осуждалось церковью как величайший грех. В античном мире человеку также отводилась весьма скромная роль: главное место в античности занимали боги. В эпоху Возрождения возникает небывалый интерес к человеку как личности, человек становится центральной фигурой Природы. Возрождение самоопределилось, прежде всего, в сфере художественного творчества. При этом художественное творчество и, особенно, изобразительное искусство стало пониматься как универсальный язык, позволяю-

щий познать тайны «божественной Природы». Подражая природе, воспроизводя ее не по-средневековому условно, а именно натурально, художник как бы вступает в соревнование с Верховным Творцом. Искусство предстает одновременно и лабораторией, и храмом, где пути естественнонаучного познания и богопознания постоянно пересекаются.

В культуре Возрождения возвеличение человека сочетается с преклонением перед самой природой (что, в частности, нашло отражение в живописи). Натурфилософский пантеизм (обожествление природы) стал важнейшей предпосылкой научного стиля мышления в естествознании. Идеология гуманизма сформировала новый идеал человека, провозгласив культ человеческой личности, веру в возможности человека, в его разум. Новый взгляд на мир и на человека способствовал появлению выдающихся открытий, ставших прологом классического естествознания.

Крупнейшим событием эпохи, перевернувшим всю картину мироздания, явилось создание Коперником *гелиоцентрической системы мира*. Изучение достижений греческих ученых привело Коперника к убеждению о существовании единого математического плана, по которому построена Вселенная. При этом чисто эстетические соображения требовали наличия более простой и изящной теории, чем сложное нагромождение эпициклов, содержащееся в позднем варианте теории Птолемея. Копернику была известна идея Аристарха Самосского о неподвижном Солнце и вращающейся вокруг него Земле, и он решил выяснить, к чему приводит эта гипотеза. Поворотный момент в рассуждениях Коперника наступил тогда, когда он воспользовался для описания движения небесных тел птолемеевой схемой, состоящей из деферента и эпициклов, поместив в центр деферента не Землю, а Солнце; при этом Земля стала одной из планет, движущихся по своему эпициклу.

В результате сложные петлеобразные движения планет получили естественное объяснение (видимые нами движения планет являются относительными, наблюдаемыми с движущейся Земли). Звезды Коперник поместил на одной сфере, в центре которой находится Солнце. Какова природа звезд, – Коперник не знал, а радиус «сферы звезд» он оценил как 1000-кратное расстояние от Земли до Солнца. (Впервые измерить расстояние от Земли до звезд удалось в XVII в. швейцарскому астроному Жану Шезо. Сравнивая блеск типичной звезды с блеском планеты Марс, Шезо рассчитал, что типичная звезда находится от нас на расстоянии около 20 триллионов километров. Такие расстояния Коперник не мог даже вообразить.)

С математической точки зрения, теория Коперника представляет собой чисто геометрическое описание, которое заменило сложную конструкцию Птолемея более простой. Для Коперника основным критерием правильности его теории была именно ее большая простота: «природа довольствуется простотой и не терпит пышного великолепия излишних причин». Следует отметить, что в создании Коперником гелиоцентрической теории значительную роль сыграли

религиозные мотивы: движущей идеей для Коперника являлась разгадка мудрости Создателя.

Хотя гипотеза о неподвижном Солнце значительно упростила астрономическую картину, полного согласия с наблюдениями она не давала. Каково было отношение современников к теории Коперника? Церковь осудила новое учение как ложное, от начала до конца противное Священному Писанию (правда, произошло это не сразу, а в 1616 году, то есть спустя 73 года после опубликования основного труда Коперника) – оно было внесено в Индекс запрещенных книг. Интересно отметить, что грандиозные успехи небесной механики в конце XVIII – начале XIX вв. вынудили католическую церковь сдаться: решением конгрегации «Индекса запрещенных книг» в 1822 г. запрет с основного труда Коперника был снят, продержавшись более 200 лет.

Среди тех, кто был ярким сторонником гелиоцентрической системы, надо в первую очередь назвать Джордано Бруно (1548–1600). Теорию Коперника он рассматривал не только как способ представления движения небесных тел, а шире – как основу для общефилософского переосмысления картины мира. В своих сочинениях «О причине, начале и едином», «О бесконечности, Вселенной и мирах» Бруно выдвигает грандиозную картину мироздания, в основе которой лежит идея единства мира и тождества Бога и Природы. Отправляясь от теории Коперника, он идет дальше: раз Земля не является центром Вселенной, то им не может быть и Солнце; мир не замыкается сферой неподвижных звезд, он безграничен и бесконечен.

Бруно первым выдвинул идею, что Солнце – это одна из звезд. Из этого вытекает множество поразительных следствий. Во-первых, другие звезды также могут обладать планетными системами, что влечет множественность миров. Во-вторых, невообразимо расширились масштабы Вселенной (на какое расстояние надо отодвинуть Солнце, чтобы оно светило как рядовая звезда?). Именно Джордано Бруно стал выразителем новых космологических взглядов эпохи.

Одним из тех, кто активно способствовал проникновению новых идей о Вселенной, был Галилео Галилей. В 1610 г. он сконструировал телескоп, с помощью которого им были обнаружены кратеры и горы на Луне – это имело большое значение в формировании новых представлений о мире (до этого Луна считалась абсолютно гладким телом, имеющим идеальную сферическую форму, – а какой еще мог ее сотворить господь?) Галилей обнаружил смену фаз Венеры, что явилось доказательством ее вращения вокруг Солнца; открыл спутники Юпитера, что подтвердило его сходство с Землей; установил, что Млечный Путь – это огромное скопление звезд, а не «огненное испарение», как считалось со времен Аристотеля; обнаружил пятна на Солнце, что противоречило представлениям античности о божественной чистоте небес.

Нет никакого сомнения в том, что Галилей симпатизировал гелиоцентрической системе Коперника. В своем труде «Диалог о двух главнейших системах мира, Птолемеевой и Коперниковой» (1632) Галилей произвел тщательное сравнение этих двух систем мироздания. Чтобы усыпить бдительность церкви

(после 1616 года, когда учение Коперника было объявлено еретическим, все публикации, разделявшие гелиоцентрическую теорию, подвергались строгой цензуре), он был вынужден в предисловии представить гелиоцентрическую систему как игру воображения. Однако католическая церковь восприняла эту книгу как убедительную научную поддержку теории Коперника, Галилей предстал перед судом инквизиции и был приговорен к пожизненному домашнему аресту и публичному отречению от учения Коперника.

Не только у реакционных деятелей церкви, но и у многих здравомыслящих людей того времени гелиоцентрическая система вызывала недоуменные вопросы. Если Земля движется вокруг Солнца, то почему никто этого не замечает? Почему брошенный вверх предмет падает на то же место? Почему более тяжелые тела движутся вместе с Землей с той же скоростью, что и более легкие? Надо иметь в виду, что все это происходило в XVI веке, когда господствовала физика Аристотеля, не знавшая закона движения по инерции и считавшая, что скорость движения тела пропорциональна его массе; физика, которая могла бы дать ответы на все эти вопросы, начала создаваться только в середине XVII века.

В настоящее время мы смотрим на эти две системы – гео- и гелиоцентрическую – с других позиций (отголоски геоцентрических представлений и поныне сохранились в языке: мы говорим, что Солнце всходит на Востоке, а заходит на Западе, утверждая тем самым, что движется Солнце, а не Земля). Принципиальным является то, что *неподвижных объектов во Вселенной нет: движется всё*. Любое движение является относительным и рассматривается только относительно некоторой системы отсчета. С чем связать систему отсчета – с Землей или Солнцем – в конечном итоге безразлично. Основное формальное достоинство гелиоцентрической системы – её простота, которая обусловливается центральным положением Солнца в Солнечной системе. Но мировоззренческое значение гелиоцентрической системы огромно: она определила место Земли в системе мироздания – как одной из планет, а не как центра мира. Представление, что Земля находится в центре Вселенной (которое было незыблемым со времен Аристотеля и которое утверждала религия), – это не только геометрический, но и в высшей степени мировоззренческий факт. Согласно католическому вероучению, род человеческий – главное действующее лицо в этом мире, и именно для него были сотворены Земля, Солнце, Луна, звезды.

Гелиоцентрическая система поставила Землю в ряд со всеми остальными планетами, лишив её, таким образом, исключительности и подорвав основы религиозной картины мира. И на памятнике Копернику, открытому в Варшаве спустя почти три столетия после его смерти, высечены слова, которые кратко выражают суть его великого открытия: «Остановивший Солнце, сдвинувший Землю».

Тема 3: Истоки классического естествознания

- 3.1. Зарождение современной философии. Система натуральной философии Декарта. Рационализм.*
- 3.2. Формирование основ естествознания.
Научные принципы Галилея.*
- 3.3. Опыты Торричелли, Паскаля, Герике, Бойля.*
- 3.4. Законы Кеплера. Идея общей гармонии.*
- 3.5. Математические начала натуральной философии Ньютона.*
- 3.6. Представления Ньютона о механике небесного движения
и о сотворении мира.*
- 3.7. Общая характеристика научного знания XVI-XVII вв.*

3.1. Зарождение современной философии. Система натуральной философии Декарта. Рационализм

В Средние века проблема внешнего мира отступила на задний план, уступив место теологии. Только в эпоху Возрождения философы вновь обращаются к реальному миру; зарождается современная философия, растет интерес к естествознанию.

Основателем современной философии по праву считается Рене Декарт (1596–1650): именно Декарту удалось создать систему натуральной философии, способную заменить аристотелевское представление о мироздании. В отличие от Аристотеля, считавшего, что истинное знание рождается из чувственного опыта с помощью интуиции и абстракции, Декарт в основу своего метода положил способность разума к непосредственному постижению ясных и четких истин, которая должна сочетаться с надёжной дедукцией. В качестве путеводной нити, обеспечивающей верный путь к истине, Декарт рассматривал математику. Декартом были установлены два важнейших физических закона, относящихся к движению – закон инерции и закон сохранения количества движения. Геометрия Декарта, приведшая к созданию аналитической геометрии, стала решающим шагом на пути сведения геометрии к алгебре.

В философии Декарта природа предстаёт как причина самой себя. В соответствии с этим телеологический подход, согласно которому всё происходящее в мире является осуществлением заранее предопределённых целей, заменяется механической конструкцией. *Именно Декарт впервые сформулировал концепцию Вселенной, управляемой законами, а не волей потусторонних сил. Поэтому он стремился построить механистическую модель мира, в которой всё было бы объяснено с помощью математики.* Декарт представлял окружающий мир состоящим из движущейся материи, и был уверен, что математический метод вполне достаточен для познания всех его свойств. Реальный мир, согласно Декарту, состоит из совокупности тел, движущихся в пространстве и во времени, а вся Вселенная представляет собой огромную гармоничную машину, построенную на основе математических принципов и потому доступную для изучения с помощью математики.

Еще Аристотель, стараясь объяснить явления природы с помощью физических понятий, выделил четыре основных элемента, из смешения которых состоит весь «подлунный мир» (к ним Аристотель отнес землю, воздух, огонь и воду). При этом все наблюдаемые явления объяснялись свойствами этих «четырёх стихий». Например, огонь стремится вверх, потому что он легкий, а земная материя стремится вниз по причине своей тяжести. К четырем «основным стихиям» Аристотеля в эпоху Средневековья добавились новые: *симпатия*, вызывающая взаимное притяжение тел, *антипатия*, вызывающая их взаимное отталкивание и т. п. Декарт отверг все эти свойства и первым провозгласил тезис о том, что все физические явления могут быть объяснены материей и

движением. Согласно Декарту, самыми фундаментальными и надежными свойствами материи являются форма, протяженность и движение в пространстве и во времени. А так как все эти свойства поддаются математическому описанию, то для изучения физического мира Декарт хотел бы использовать только математику, называя математику сущностью всех наук. В «Началах философии» он утверждает:

«Я прямо заявляю, что мне не известна иная материя телесных вещей, как только всячески делимая, могущая иметь фигуру и движимая, иначе говоря, только та, которую геометры обозначают названием величины, и принимаю за объект своих доказательств; я ничего в этой материи не рассматриваю, кроме ее делений, фигур и движения, и, наконец, ничего не сочту достоверным относительно нее, что не будет выведено с очевидностью, равняющейся математическому доказательству. И так как этим путем, как обнаружится из последующего, могут быть объяснены все явления природы, то, мне думается, не следует в физике принимать других начал, кроме вышеизложенных, да и нет оснований желать их».

В вопросах восприятия внешнего мира Декарт принял точку зрения Демокрита, согласно которой основой физического мира являются «первичные качества» (материя и движение), причем все физические явления представляют собой результат механического движения молекул, приводимых в движение силами, а силы подчиняются математическим законам. «Вторичные качества» – ощущения вкуса, запаха, цвета, тепла – есть результат воздействий «первичных качеств» мира на органы чувств человека.

Хотя по своим философским принципам Декарт разошелся как с учением Аристотеля, так и со средневековой схоластикой, но в одном существенном отношении он остался на схоластических позициях, полагая, что все законы, касающиеся природы, могут быть открыты на основе чистого разума. Декарт верил в априорные истины, считая, что разум сам по себе может привести к истинному знанию.

Сформулированная Декартом, философская концепция Вселенной как атомистической системы, управляемой законами механики, а потому доступной для науки, стала ведущей моделью для ученых XVII–XVIII вв. Его идеи о движении и протяженности как сущностях реальных объектов, сведение явлений природы к чисто физическим процессам, вера в неограниченные возможности человеческого разума, в неизменность законов природы, – все это оказало решающее влияние на характер складывающегося научного мышления.

Начатое в XVII в. преобразование религиозной картины мира в научную происходило постепенно. Одним из основателей этого процесса, наряду с Декартом, был голландский философ-материалист Барух Спиноза (1632–1677). Центральным пунктом философской системы Спинозы является тождество Бога и природы (пантеизм). В отличие от христианства с его пониманием Бога как личности, возвышающейся над природой и человеком, пантеизм развивает

учение о безличном мировом духе, внедренном в саму природу. Выдвинутый Спинозой мировоззренческий принцип «природа – причина самой себя» определил переход от *телеологической* концепции природы (объяснение развития осуществлением заранее predetermined целей) к *механистической* (нахождение причин происходящих явлений). Научное знание, согласно Спинозе, представляет собой величайшую ценность. Он писал о присущей науке божественной любви к истине, добываемой интеллектом («*Amor Dei intellectualis*»), говоря в то же время о необходимости обоснования формулируемых положений и критического отношения к ним. Признавая возможность безграничного познания мира, Спиноза считал чувственное познание недостаточным, могущим привести к искажению истинной картины. Он полагал, что чувственное восприятие создает не столько отображение действительности, сколько свидетельствует о состоянии воспринимающего органа, на который воздействуют изучаемые предметы. Согласно Спинозе, чувственное восприятие способно лишь к ограниченному познанию не субстанции, а только модусов. Адекватные идеи могут возникать только в результате понимания, достигаемого рассудком и интуицией, которые Спиноза противопоставлял чувственному восприятию.

Важную роль в развитии методологии эмпирического естествознания сыграли труды английского философа-материалиста Фрэнсиса Бэкона (1561–1626). Попытка познания природы без определённого метода напоминает, по его словам, «ходьбу ощупью в ночное время». В основе предложенной Бэконом методологии лежит планомерно организованный эксперимент, посредством которого устанавливаются факты. Бэконом была разработана индуктивная логика, направленная на систематический анализ результатов опыта. Большое значение Бэкон придавал «очищению разума от отягчающих идолов» – типичных заблуждений, вызываемых несовершенством обыденного мышления и толкованием природы на основе человеческих аналогий. Фрэнсис Бэкон считал, что главным источником наших знаний являются чувства, в то время как Декарт утверждал, что чувства способны дать лишь самое смутное представление о вещах, что они только вводят нас в заблуждение. Согласно Декарту истина постигается разумом и свойственной ему интуицией. Первым, кто совершенно по-новому – в критическом плане – поставил вопрос о границах познания, о возможностях разума и о значении чувств в этом процессе, был выдающийся французский ученый Блез Паскаль (1623-1662). Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646-1716) – человек разнообразных дарований и интересов, великий математик и философ – всю жизнь был одержим идеей создания единой науки, в основе которой лежал бы общий метод овладения законами природы, мечтал о создании универсального алгоритма «вычисления истины». Труды этих выдающихся ученых в XVII в. формируются *рационализм* – философское направление, которое мистике, схоластике и теологии противопоставляет веру в силу и могущество разума. Разум рассматривается одновременно как источник знания и критерий его истинности. Рационализм исходит из

идеи естественного порядка, царящего в Природе. Средневековое представление о непостижимости управляемой Богом природы заменяется уверенностью в том, что мир устроен рационально. Поэтому с помощью научного анализа он может быть расчленен на логически связанные между собой составные части, допускающие точное количественное описание. Отсюда следует возможность его изучения на базе физики и математики. Именно поэтому достижения математики, механики, физики, астрономии определили мировоззрение последующих эпох. А сформулированная Бэконом идея науки как орудия власти над природой, имела определяющее значение для дальнейшего развития европейской цивилизации.

- Впервые идеи господства человека над природой на основе ее познания возникли в эпоху Возрождения. В последующие столетия, вплоть до начала XX в. естествознание было сосредоточено в Европе, причем фактически оно стало синонимом науки вообще. Появившиеся на базе естествознания технологии впоследствии привели к колоссальному прогрессу техники, породившему техногенную цивилизацию со всеми ее плюсами и минусами. В отличие от европейской, восточная цивилизация (и более общо, – восточная культура) приняла созерцательное отношение к миру с установкой не на преобразование природы, а на нахождение гармонии с ней.
- Не следует думать, что рационализм, утвердившись в конце XVII в. как ключевое направление познания природы, развивался далее только по восходящей. Были и отступления, и сомнения, которые продолжают быть по настоящее время. Это замечание относится как к различным разделам естествознания, так и к отдельным его представителям. Так, Блез Паскаль, один из выдающихся деятелей периода формирования современной науки, сделав ряд крупных открытий в математике и физике, затем обратился к религиозной философии и мистике. Паскаль отверг европейский рационализм и стал предшественником современных иррационалистических философских систем, провозглашающих приоритет существования перед сущностью (экзистенциализм). Так, в своем философском произведении «Мысли», опубликованном в 1669г., Паскаль выразительно передает охватывающее человека чувство страха, как только он осознает свое положение в мире между двумя бесконечностями: бесконечностью Вселенной и бесконечностью (неисчерпаемостью) любой ее частицы. Отсюда Паскаль делает вывод о необходимости смирения и ограничения разума в пользу веры.
- Гениальный мыслитель Нового времени Исаак Ньютон сделал свои выдающиеся открытия в математике и физике еще в молодом возрасте. В дальнейшем большую часть своей жизни он посвятил толкованию апокалиптических книг Библии и алхимическим исследованиям.

3.2. Формирование основ естествознания. Научные принципы Галилея

Время формирования основ современной науки – XVII век. У истоков естествознания Нового времени возвышается фигура Галилео Галилея (1564-1642).

Основные научные принципы, сформулированные Галилеем, таковы.

Галилей пришел к необходимости сосредоточить основное внимание физики на таких понятиях, как пространство, время, тяготение, скорость, ускорение, сила и импульс. В выборе этих понятий проявился гений Галилея, ибо их важность в начале XVII века отнюдь не была очевидной, а соответствующие физические величины не всегда доступны прямому измерению.

Галилей первым поставил задачу получения количественного описания физических явлений, т.е. задачу – облечь физические законы в математические формулировки. Это в корне противоречило подходу Аристотеля, считавшему, что естественные науки имеют дело с изменяющимися объектами, в то время как математика – с неизменными. Именно поэтому «Физика» Аристотеля изложена без использования математики. В выдвинутый Галилеем план изучения природы входило выделение наиболее фундаментальных характеристик природы, которые, по его мысли, надо научиться измерять, а затем принять их в качестве переменных в математических формулах. Галилей считал, что ключом к пониманию языка Вселенной является математика. Он утверждал: «Книга природы написана математическими символами, без которых человек не сможет понять в ней ни одного слова».

Галилей сыграл решающую роль в произошедшем в дальнейшем развитии науки переломе в пользу экспериментального подхода, который окончательно утвердился только в XIX веке. Галилей неустанно подчеркивал, что если мы хотим установить правильные основополагающие принципы, то необходимо «прислушиваться к голосу природы» (а не следовать тому, что кажется предпочтительным нашему разуму). Критикуя средневековых схоластов, занимавшихся в основном изощренными логическими построениями и спорами, Галилей неустанно повторял, что знания берутся из наблюдений, а не из книг. «Природа создает свои творения – как ей заблагорассудится, и человеческому разуму надо напрягать все силы, чтобы понять ее». Надо сказать, что понятие эксперимента Галилей трактовал весьма широко, будучи сам блестящим экспериментатором. Галилей часто проводил так называемый *умозрительный эксперимент* (опыт в уме). Например, размышляя о движении тел под действием силы тяжести, Галилей вначале придерживался позиции Аристотеля, согласно которой тяжелые тела падают на землю быстрее, чем легкие. Но затем он провел следующий умозрительный эксперимент. Если к тяжелому камню добавить легкий, то он должен падать быстрее, так как его масса при этом возрастает. С другой стороны, добавление к тяжелому телу части, падающей медленнее, должно его тормозить. Возникает противоречие, разрешить которое можно единственным способом – считать, что и тяжелый, и легкий камень падают с одинаковой скоростью.

Именно Галилей впервые высказал и неоднократно использовал важнейший научный принцип – *принцип идеализации* (т.е. игнорирования второстепенных деталей). Например, всякий реальный предмет обладает определенными размерами и геометрической формой, однако при проведении, скажем, физических экспериментов ни размеры, ни форма предмета не играют существенной роли, поэтому допустимо рассматривать его как материальную точку, в которой сосредоточена вся его масса (точечная масса). Принцип идеализации играет важнейшую роль современной математике и физике.

Галилей внес решающий вклад в развитие представлений о движении. Один из основных принципов средневековой натурфилософии, восходящий к Аристотелю, гласит: «Все, что движется, движется посредством чего-то», то есть посредством действующей силы. Галилей первым высказал предположение, что если бы не было трения и сопротивления воздуха, то всякое тело, будучи раз приведенным в движение, двигалось бы – в отсутствие внешних воздействий – неограниченно долго и равномерно. Под действием силы происходит лишь изменение скорости, т.е. создается ускорение. Таким образом, постоянно действующая сила есть причина не скорости, а ускорения. Всякое тело сопротивляется изменению своей скорости – как по величине, так и по направлению. Мера сопротивления изменению скорости тела называется его массой (точнее, инертной массой).

Важнейшей заслугой Галилея было установление того факта, что все механические явления протекают одинаково во всех системах отсчета, которые движутся равномерно и прямолинейно (инерциальных системах отсчета) – это положение называется *принципом относительности Галилея*. Опыт, который Галилей предложил для подтверждения этого принципа, состоит в следующем. Если наблюдать за протеканием различных механических процессов на движущемся (равномерно и прямолинейно) корабле и на корабле, стоящем неподвижно, – никакой разницы заметить невозможно. Именно этим объясняется тот факт, что никто из нас не замечает никаких последствий орбитального движения Земли (которое происходит с огромной скоростью 30 км/с). Осознание принципа относительности Галилея сыграло важнейшую роль в признании гелиоцентрической системы Коперника.

Галилей разделял убеждение, что природа сотворена по математическому плану и что источником всего рационального в природе является божественный разум. Галилей считал, что Бог вложил в мир строгую математическую необходимость, которую люди постигают с большим трудом, хотя их разум устроен по образу и подобию божественного разума. Следующий отрывок из сочинения Галилея 1623 г. характеризует его взгляд на роль математики в познании природы.

«Философия природы написана в величайшей книге, которая всегда открыта перед нашими глазами, – я разумею Вселенную, но понять ее сможет лишь тот, кто сначала выучит язык и постигнет письмена, которыми она начертана. А написана эта книга на языке математики, и письмена ее – треугольни-

ки, окружности и другие геометрические фигуры, без коих нельзя понять по-человечески ее слова: без них – тщетное кружение в темном лабиринте».

Галилей был профессором математики Пизанского и Падуанского университетов, а впоследствии – придворным математиком, однако его главным вкладом в науку стали не его математические результаты, а сформулированные им методологические принципы естествознания. Наиболее важным из них был отказ от поисков физического объяснения происходящих явлений (что Аристотель считал истинной целью науки), и переход к математическому описанию этих явлений. Например, вместо нахождения причины падения поднятого над Землей тела на ее поверхность, Галилей устанавливает закон этого движения, имеющий вид математической формулы: $s = \frac{1}{2}gt^2$, где s – расстояние, пройденное телом, t – время падения, g – ускорение свободного падения. Галилей первым высказал убеждение, что физические законы должны иметь математические формулировки, которые показывают – *как* протекает то или иное явление, не затрагивая вопроса о том, – *почему* оно так протекает. Именно по этому пути пошла физика, наиболее развитая из всех естественных наук. Тем самым физика и, в определенной степени, все естествознание оказались поставленными «на математические рельсы».

Еще один важный методологический принцип, выдвинутый Галилеем, состоит в том, что любая область естествознания должна быть построена «по образу и подобию математики». Это значит, что любой раздел естествознания должен начинаться с аксиом (основополагающих положений) и строиться дедуктивно, то есть на логической основе. Что касается вопроса *происхождения* аксиом, – здесь Галилей решительно отходит как от философов античности, так и от Декарта. В отличие от Декарта, который считал врожденной способность разума к непосредственному постижению ясных и четких истин, Галилей провозгласил, что в физике источником первых принципов должен быть эксперимент в сочетании с анализом полученных результатов. По мнению Галилея, те ученые, которые верят в способность разума к выработке фундаментальных принципов, заранее решают, как должен функционировать мир в соответствии с предустановленными положениями. Галилей неустанно повторял, что надо прислушиваться к голосу природы, а не к тому, чему отдает предпочтение разум. Ведь природа не сотворила сначала мозг человека, а затем мир таким, чтобы он воспринимался разумом. Таким образом, *именно Галилеем были заложены основные методологические принципы современного экспериментального естествознания.*

3.3. Опыты Торричелли, Паскаля, Герики, Бойля

Ни одно научное изобретение XVII в. (за исключением, быть может, телескопа) не вызывало столько интереса и удивления, как эксперименты с ба-

рометром и воздушными насосами. Догадки о том, что воздух имеет вес, имеются уже в трудах Платона и Аристотеля, но до Галилея и его ученика Торричелли вопрос оставался открытым. Начиная с Аристотеля, считалось, что природе свойственна «боязнь пустоты» (*horror vacui*), как если бы она была наделена способностью чувствовать. Даже Галилей не был вполне свободен от этого представления и был весьма удивлен, узнав, что поршневый насос не может поднять воду на высоту, превышающую 18 локтей; следовательно, пустота, образующаяся под поршнем, уже не заполняется после этой границы.

Знаменитый опыт Торричелли по обнаружению атмосферного давления был поставлен в 1644 г. Стеклянную трубку длиной около метра и запаянную с одного конца, заполнили ртутью и опустили свободным концом вниз в чашу с ртутью; при этом ртуть в трубке опустилась, остановившись на уровне в один локоть с четвертью. Торричелли так объясняет результат опыта: «До сих пор думали, что эта сила, которая удерживает живое серебро (т.е. ртуть) от его естественного стремления упасть вниз, обусловлена сосудом, или пустотой, или некоей весьма разреженной субстанцией, но я утверждаю, что она внешняя, что сила приходит извне. На поверхность жидкости в чашке давит тяжесть в 50 миль воздуха...». Результаты опыта стали известными всей Европе благодаря французскому ученому Мерсенну, в частности, ими заинтересовался Б. Паскаль. Паскаль понял, что если столб ртути удерживается просто давлением атмосферного воздуха, то этот столб будет меньше на возвышенных местах. Паскаль повторил эксперимент Торричелли на самой высокой горе в Оверни. Получилась разница в три дюйма для высоты столба ртути у подножия горы и на ее вершине. В дальнейшем Паскаль показал, что с помощью барометра можно производить измерения высот, а также открыл существование связи между показаниями барометра и изменениями погоды. Важным достижением Паскаля в физике было открытие им основного закона гидростатики, известного ныне как *закон Паскаля*: давление внешними силами на поверхность жидкости передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

Итак, доктрина «боязни пустоты» была преодолена благодаря экспериментам, произведенным в Италии и Франции. Затем они были продолжены в Германии, где изучением проблем вакуума занялся инженер (а впоследствии бургомистр Магдебурга) Отто фон Герике (1602-1686). Эффектный опыт, который Герике произвел в 1654 г. (опыт с магдебургскими полушариями), состоял в следующем. Из сосуда, состоящего из двух плотно пригнанных друг к другу бронзовых полушарий диаметром около 40 см, выкачивался воздух. Затем к полушариям привязывали две лошадиные упряжки, которые пытались их разъединить. Это удалось сделать лишь усилиями шестнадцати лошадей, причем разделение полушарий сопровождалось громовым треском. Исследования Герике были продолжены в Англии Робертом Бойлем (1627-1691), основоположником современной химии. Им были открыты удивительные свойства пустоты: в пустоте свеча не горит, но магнит через пустоту действует; нагретая вода в пустоте закипает; трение в пустоте вызывает тепло и др. опыты Бойля с пу-

стотой описаны им в сочинении «Новые физико-механические опыты» (1660 г.). Опыты с пустотой привели Бойля к открытию его газового закона: «упругость воздуха находится в обратном отношении к его объему». К такому же закону независимо от Бойля пришел настоятель монастыря Э. Мариотт, поэтому в современных учебниках упомянутый закон называется законом Бойля-Мариотта. Бойль был одним из главных инициаторов основания Лондонского Королевского общества и даже был избран его президентом, но отказался от этого поста. Интересно отметить, что ассистентом Бойля при проведении опытов был Роберт Гук, который впоследствии стал выдающимся физиком и секретарем Лондонского Королевского общества.

3.4. Законы Кеплера. Идея всеобщей гармонии

Одной из крупнейших фигур XVII столетия был немецкий астроном Иоганн Кеплер, научивший людей «измерять небеса». Он разработал теорию солнечных и лунных затмений, указал способы их предсказания, уточнил расстояние между Землей и Солнцем, составил таблицы, дающие возможность с высокой точностью определять положение планеты в любой момент времени («Рудольфовы таблицы» – в честь императора Чехии Рудольфа). Но главной заслугой Кеплера явилось открытие им трех законов движения планет. Деятельность Кеплера подготовила почву для открытия Ньютоном закона всемирного тяготения – основного закона небесной механики.

Многолетний поиск принципов, которые находились бы в соответствии с данными наблюдений, привел Кеплера к открытию трех знаменитых законов движения планет, носящих его имя.

Первый закон Кеплера гласит: все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которого находится Солнце (другой фокус есть ничем не выделенная точка). При этом каждая планета движется по своему эллипсу, и Солнце есть общий фокус сразу для всех планет. Таким образом, после пятнадцати веков поиска комбинаций движений по окружностям вводится движение по эллипсу. Отказ от попытки описания движения небесных тел с помощью окружностей явился настоящей «революцией в умах», ибо еще в Древней Греции окружность считалась священной фигурой. Греческой философии была свойственна уверенность, что геометрия внутренне присуща природе. Геометрия считалась выражением прекрасного, и ей приписывалось божественное происхождение.

Первый закон Кеплера указывает траекторию движения планеты, но с его помощью нельзя узнать, с какой скоростью движется планета; поэтому, наблюдая планету, нельзя предсказать – через какое время она окажется в другой

точке своей орбиты. Наиболее простое предположение, – что каждая планета движется с постоянной скоростью, однако наблюдения опровергают это предположение.

Второй закон Кеплера указывает скорость движения планеты по траектории и формулируется так: площади криволинейных треугольников, образуемых за одинаковое время отрезками, соединяющими планету с Солнцем, равны между собой (т.е. постоянной для планеты является ее *секторная* скорость, а не линейная).

Третий закон Кеплера утверждает: если T – период обращения планеты вокруг Солнца, а D – её среднее расстояние от Солнца, то $T^2 = KD^3$, где K – постоянная для всех планет (в действительности в качестве D надо брать большую полуось эллиптической орбиты).

Первые два закона Кеплера изложены им (для планеты Марс) в «Новой астрономии», вышедшей в 1609 г. А в 1619 г. выходит его книга «Гармония мира», где приведён и третий закон. Законы Кеплера справедливы для всех небесных тел и доказывают целостность Солнечной системы. Они являются развитием и подтверждением гелиоцентрического учения Коперника: все три закона Кеплера основаны на центральном положении Солнца в Солнечной системе. Исключительно важным является то обстоятельство, что Кеплеру удалось найти стройное, красивое и сравнительно простое *математическое* описание движения планет. Ведь ниоткуда не следовало, что математика вообще способна описывать наблюдаемые небесные явления! В ту эпоху было принято считать, что небесные тела перемещаются ангелами или духами, которые могут действовать так, «как им заблагорассудится».

Как и Коперник, Кеплер, считал, что мир создан Богом в соответствии с простым и красивым планом, который мог иметь математический характер. При этом Кеплер отчетливо сознавал, что теория должна находиться в соответствии с наблюдениями (будучи еще в 1600 г. ассистентом знаменитого астронома Тихо Браге, Кеплер получил от него «в наследство» бесценный дар – данные его многолетних астрономических наблюдений). Все это толкало Кеплера на упорные поиски математических законов движения планет, завершившиеся блестящим успехом. Несмотря на то, что и Коперник, и Кеплер были людьми глубоко религиозными, они, утверждая гелиоцентрическую модель мира, отказались тем самым от основной догмы христианства, согласно которой Земля является центром Вселенной. При этом решающим аргументом для замены геоцентрической модели на гелиоцентрическую послужила большая простота последней *в математическом отношении*. Научный мир окончательно принял модель Коперника лишь к середине XVII века, главным образом потому, что она позволяла упростить многочисленные вычисления астрономам, географам и мореплавателям.

Все сочинения Кеплера пронизывает унаследованная им от философов античности, прежде всего, от Пифагора, идея гармонии, согласно которой все в

природе подчинено единому гармоническому началу. Кеплер пытается доказать, что глубинные принципы Вселенной основаны на геометрии: «Я полагаю, что искусство геометрии символизирует всю природу и прекрасное небо». Представления Кеплера о всеобщей гармонии включают тезис о существовании связи между космосом и отдельной личностью.

Коперник, Галилей и Кеплер разрушили аристотелевскую картину мира. Но мечта Кеплера о создании новой физики, где все явления могут быть объяснены с помощью одного фундаментального закона (или нескольких важнейших законов) была еще далека от своего осуществления. К решению этой задачи приступил Рене Декарт, а завершил ее Исаак Ньютон – два самых выдающихся мыслителя XVII века.

3.5. Математические начала натуральной философии Ньютона

Человек, открывший законы, которые управляют движением всех тел во Вселенной – Исаак Ньютон – один из величайших ученых за всю историю человечества. Истории было угодно сделать так, что Ньютон родился в том же году, в каком скончался Галилей – в 1642. В 1661 г. он поступил в Тринити-колледж (колледж святой троицы) в Кембридже. В год окончания им колледжа в Лондоне разразилась чума, Кембриджский университет был закрыт, и Ньютон уехал, уединившись в тиши родительского дома в Вулсторпе. В 1665 г. он начал свои работы по математике и механике. Вот как Ньютон характеризует поставленную им перед собой задачу: «По явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления». Труд Ньютона завершился триумфальным успехом: он открыл, что одна и та же сила, а, следовательно, один и тот же закон управляет движением и на Земле, и на небе, – **закон всемирного тяготения**. Все тела во Вселенной, независимо от их размера, формы, строения, химического состава и других свойств, взаимно тяготеют друг к другу. В математической форме закон всемирного тяготения выражается в виде равенства

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

где F – сила тяготения; m_1 , m_2 – массы тел; r – расстояние между ними; G – универсальная мировая постоянная (постоянная тяготения).

Если в этой формуле взять в качестве m_1 – массу Земли, в качестве m_2 – массу тела, находящегося у поверхности Земли, r – радиус Земли, то получится вес тела, т.е. сила тяготения, которая действует на любое тело, находящееся на поверхности Земли. Закон всемирного тяготения вместе с тремя законами движения был изложен Ньютоном в его знаменитой работе «Математические

начала натуральной философии», опубликованной в 1687 г. Законы движения Ньютона даны им в следующей формулировке.

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

Второй закон Ньютона: *Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.*

Третий закон Ньютона: *Действию есть всегда равное и противоположное противодействие, иначе – взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.*

К этим трем законам добавлен закон всемирного тяготения. Опираясь на эти законы, можно с высокой точностью рассчитать движение любого тела – как у поверхности Земли, так и в космическом пространстве. В частности, три закона Кеплера о движении планет, носящие эмпирический характер (Кеплер получил эти законы методом проб и ошибок на основе результатов многолетних наблюдений датского астронома Тихо Браге), представляют собой чисто математические следствия законов Ньютона. Ньютон и его последователи пришли к выводу, что движение комет также согласуется с законом всемирного тяготения; тем самым кометы были признаны членами Солнечной системы (а не «пришельцами из космоса, сулящими кару», как это считалось раньше).

- В 1684 г. вопрос о том, как вывести законы Кеплера, исходя из общих принципов механики, стал одним из центральных в среде английских ученых. В январе 1684 г. он обсуждался на заседании Королевского общества, где присутствовали Галлей и Гук. Гук заявил, что он может вывести все законы Кеплера из предположения, что сила притяжения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, но доказательства не представил. В августе того же года обратились к Ньютону (Галлей посетил его в Кембридже). В ноябре 1684 г. Галлей получил небольшой трактат (в нем было всего 9 страниц), озаглавленный «О движении тел по орбите». В нем содержалось не только строгое доказательство того, что орбита планеты должна быть эллиптической, но решена и более общая задача: из закона обратных квадратов следует, что орбита небесного тела всегда представляет собой коническое сечение, превращающееся в эллипс, если скорость небесного тела не превышает некоторой величины.
- Эдмонд Галлей, собирая данные о движении комет, предположил, что кометы, зарегистрированные в 1531, 1607 и 1682 гг., – одна и та же комета. Галлей начал рассчитывать ее траекторию. Сложность состояла в том, что орбита кометы претерпевает возмущения со стороны других планет Солнечной системы, главным образом, – Юпитера и Сатурна. Расчет был завершен уже после кончины Галлея группой французских астрономов под руководством выдающегося математика Алексиса Клеро: получалось, что комета должна приблизиться к Земле в конце 1758 или в начале 1759 г. И действительно, комета (названная впоследствии *кометой Галлея*), появилась под Рождество 1758 г.

В наше время прохождение кометы Галлея близ Земли произошло в 1986 г. – за ней не только наблюдали, но и произвели зондирование кометного вещества.

- Еще один общеизвестный факт, поддерживающий триумф закона всемирного тяготения, – открытие планеты Нептун по возмущениям, которые она вносит в движение планеты Уран. Это сделали независимо друг от друга два астронома: Адамс (из Кембриджа) и директор Парижской обсерватории Леверье. Немецкий астроном Иоганн Галле, получив письмо от Леверье с указанием положения новой планеты, в тот же вечер наблюдал ее в телескоп.

Используя закон всемирного тяготения, Ньютон сумел объяснить некоторые непонятные ранее явления, например, океанические приливы. Их вызывают силы притяжения, действующие со стороны Луны и, в меньшей степени, со стороны Солнца. По данным о высоте лунных приливов Ньютон вычислил массу Луны. Из законов Ньютона следует, что Земля имеет не точно форму шара, а «приплюснута» у полюсов, – величину экваториального утолщения Земли оценили Ньютон и Гюйгенс. Из-за экваториального утолщения Земли земная ось под действием притяжения Луны и Солнца описывает конус с периодом 26 000 лет (это периодическое изменение направления земной оси приводит ежегодно к небольшим сдвигам в наступлении весеннего и осеннего равноденствий, что отмечалось еще выдающимся античным астрономом Гиппархом за 1800 лет до Ньютона).

Значение «Математических начал...» Ньютона состоит в том, что в них не только были открыты фундаментальные законы природы, но также разработаны общие методы, позволяющие получать математическим путем новые факты и закономерности. Тем самым Ньютон реализовал (в области механики) идеал западноевропейской науки: огромное разнообразие явлений природы должно объясняться на основе небольшого числа фундаментальных положений, сформулированных на математическом языке. Благодаря Ньютону, механистическая философия Декарта, эмпирические законы Кеплера о движении планет и законы движения Галилея оказались объединенными в стройную математическую теорию.

3.6. Представления Ньютона о механике небесного движения и о сотворении мира

Согласно теории Ньютона, механика небесного движения объясняется следующим образом. Небесные тела, однажды приведенные в движение, должны – согласно первому закону Ньютона – двигаться равномерно и прямолинейно. Но так как между планетами и Солнцем действует тяготение, оно искажает первоначальное движение, превращая прямую в эллипс (аналогично тому, как Земля искажает движение Луны).

Джон Бернал, историк науки второй половины XX в., характеризует роль Ньютона в построении картины мира следующими словами: «Созданная Ньютоном теория тяготения и его вклад в астрономию знаменуют последний этап преобразования аристотелевской картины мира, начатого Коперником. Ибо представления о сферах, управляемых «перводвигателем» или ангелами по приказу Бога, Ньютон успешно заменил представлением о механизме, действующем на основании простого естественного закона, который не требует постоянного применения силы».

Величайшей заслугой Ньютона является открытие единых законов, управляющих движением тел на небе и на Земле. Работы Галилея в описании движения ограничивались теми движениями, которые происходят на Земле и вблизи ее поверхности. Кеплер открыл три знаменитых закона движения планет, но две области физики – земная и небесная – казались совершенно независимыми. Ньютон доказал, что все тела – и на Земле и на небе – движутся по одним и тем же законам. Этим был развеян налет мистицизма и предрассудков, который окутывал небеса с древнейших времен. Таким образом, законы Ньютона способствовали отождествлению небесной и земной материи, утвердили целостность и единство мира.

О сотворении мира Ньютон говорит в своей «Оптике» следующими словами: «Мне кажется вероятным, что Бог вначале сотворил материю в виде твердых, обладающих массой, цельных, непроницаемых и подвижных частиц, наделенных такими размерами, пропорциями, формами и другими качествами, которые наилучшим образом отвечают той цели, для которой он сотворил их; и что эти частицы, будучи цельными, несравненно плотнее любого пористого тела, из них составленного; и они настолько плотны, что никогда не изнашиваются и не разбиваются; и ни одна сила не может разделить то, что Бог сотворил единым в своем первом акте творения».

Итак, Вселенная Ньютона построена из некоторых фундаментальных сущностей, созданных Богом. Бог создал мир из ничего, он создал материю, а вместе с ней – пространство и время как условия бытия материи. Пространство и время обладают только одним признаком субстанции – абсолютной самостоятельностью и независимостью от любых происходящих процессов. По представлениям Ньютона, в абсолютном пространстве движутся материальные тела, состоящие из маленьких, твердых и неразрушимых частиц – атомов. Основное отличие ньютоновой концепции материи от взглядов греческих атомистов состоит в том, что модель Ньютона базируется на тяготении – универсальной силе взаимодействия между материальными телами, зависящей только от масс этих тел и расстояния между ними.

Что не удалось Ньютону – понять физическую природу тяготения, т.е. почему оно возникает и как оно действует. Объяснить механизм гравитации, которая распространяется на миллионы километров через вакуум и без посредников, Ньютон не мог (интуиция подсказывала ему, что объяснение гравита-

ции лежит за пределами механики). Именно по этому поводу он произнес свою знаменитую фразу: «Гипотез не измышляю».

3.7. Общая характеристика научного знания XVI–XVII вв.

Как отмечалось выше (см. тему 2, вопр. 2), в VII–XII вв. центр науки и культуры переместился в страны Востока. Благодаря контактам с арабской цивилизацией, начавшимся с XII в., европейцы познакомились с научными достижениями того времени, а также с наукой и философскими идеями античности. В XII – XV вв. европейцы были лишь прилежными учениками, усваивая научное наследие предшествующих эпох. Но уже XVI в. стал первым веком научного превосходства Западной Европы как над античностью, так и над Востоком. Особенно ярко это проявилось в астрономии (гелиоцентрическая система Коперника) и в механике (исследования Галилея).

Глубокие социально-экономические изменения, произошедшие в Европе на рубеже XVI–XVII вв., способствовали также преобразованию характера научного знания. Господствующая в Средневековье наука являлась абстрактно-схоластической и была совершенно оторвана от практической жизни. Потребности бурно развивающегося производства поворачивают науку лицом к практике. Основным средством получения новых знаний становится деятельность ученых в форме эксперимента. Затем полученные данные обрабатываются и обобщаются с использованием логики и математики. Критерием истинности знания становится практическая польза, его способность воплощаться в технологии.

В результате этих процессов натурфилософское и, в значительной степени, схоластическое познание природы, свойственное предшествующим векам, в XVI–XVII вв. начинает превращаться в естествознание в современном смысле слова. Происходит становление физики как самостоятельной науки – физики в галилеевом понимании, которая базируется на эксперименте и активно использует математический аппарат. Начинается проникновение в науку инструментальных методов.

В ньютоновой физике сложились нормы научной теории и научной истины – независимой от субъекта и добываемой строго обоснованными и точно воспроизводимыми методами. Таким образом, благодаря Ньютону естествознание приняло те черты, которые оно сохранило до наших дней. После трудов Ньютона Вселенная превратилась в рационально организованную систему, которая подчиняется математическим законам. В стройной теории Ньютона не было ничего, что вело бы к отрицанию Бога, но, благодаря ей, уже оказалось ненужным вовлекать самого Бога в объяснение функционирования Вселенной. В ньютоновой картине мира Вселенная сотворена Богом в виде сложной и подчиненной строгому порядку системы. Но, сотворив Вселенную, Бог затем «устраняется» от деятельного участия или вмешательства в Природу, предоставляя ее самой себе, – чтобы она продолжала существовать на основе тех совершенных

и неизменных законов, которые были заложены в нее при сотворении мира. Тем самым *пантеизм* – отождествление Бога и природы, сложившийся в эпоху Возрождения, в Новое время сменился *деизмом* – признанием Бога безличной причиной мира, который развивается далее по своим законам.

В XVI–XVII вв. после снятия запрета на вскрытие человеческих трупов больших успехов достигает анатомия. В 1628 г. У. Гарвей публикует свое учение о кровообращении. Резко расширяются возможности исследования живого с созданием микроскопа (первые микроскопы были изготовлены в Голландии А. Левенгуком в 1677 г.): изучается клеточное строение растений, мир микроорганизмов, движение крови. В XVI веке в странах Европы утрачивает свою роль алхимия, которую европейцы позаимствовали у арабов еще во времена крестовых походов. На смену алхимии приходит химия. Задачей химии провозглашается уже не получение золота, а приготовление лекарств (ятрохимия); основателем ятрохимии считается швейцарский врач Парацельс.

Начинается процесс социализации науки. Если в предшествующие столетия ее развитие происходило, в основном, за счет поддержки частных лиц, то к середине XVI в. начинает проявляться заметный интерес к науке со стороны общества. Сформулированный Ф. Бэконом, тезис «знание-сила» постепенно проникает в общественное сознание: ум начинает цениться больше, чем грубая физическая сила. Наглядным проявлением этого могут служить проводившиеся в городах Италии и Франции поединки, где соперники состязались не в ловкости и силе, а в искусстве решения математических задач. Именно в результате участия в таких поединках молодые итальянские математики Тарталья, Кардано, Феррари обнаружили способы решения в радикалах уравнений 3-й и 4-й степеней, что способствовало дальнейшему развитию алгебры. А французский математик Франсуа Виет имел такую известность, что стал советником короля Генриха IV. Подобные традиции продолжались и в последующие столетия (достаточно вспомнить, что Рене Декарт в последние годы своей жизни был учителем шведской королевы Христины, а Екатерина II вела переписку с идеологами Просвещения Дидро и Вольтером). В середине XVII века впервые в истории цивилизации деятельность ученого становится профессией, оплачиваемой государством. Появляется устойчивая и все возрастающая в количественном отношении группа лиц, которые занимаются наукой не как любители, а профессионально. Возникает потребность коллективного обсуждения научных проблем и распространения научной информации. Создаются неформальные объединения ученых – научные кружки. (Самым известным в те годы был кружок Мерсенна в Париже, объединявший математиков, физиков, астрономов. Мерсенн был собирательным центром и душой парижского круга естествоиспытателей. Кроме того, он вел переписку со многими европейскими учеными – переписка заменяла научные журналы.) В 1665 г. в Париже начинает выходить «Газета ученых» – первое в мире периодическое издание, посвященное научным новостям. Несколько ранее в Англии была введена система промышленных патентов. С середины XVII века в европейских странах появ-

ляются ученые, непосредственно работающие на нужды промышленности. Развиваются прикладные области исследований. Характерной приметой времени явилось появление академий: в 1652 г. была основана Германская академия естествоиспытателей; в 1660 г. разрозненные английские академии королевской хартии были объединены в Лондонское королевское общество. В 1666 г. возникла Парижская Академия наук, работа которой определялась и направлялась государством. В 1700 г. была организована Прусская академия (ее первым президентом стал выдающийся ученый и философ Готфрид Вильгельм Лейбниц). Лейбниц содействовал также распространению научных знаний в России; в частности, он неоднократно беседовал с Петром I об организации академии наук и составил первый план ее устройства. Петербургская Академия наук была основана в 1724 г.

Произошедшие в XVI-XVII вв. явления: с одной стороны, выдвижение науки Европы на передовые позиции, а, с другой, – процесс социализации науки, – не могут быть объяснены на базе причинно-следственной связи. Эта связь носила глубинный, системный характер: развитие одного способствовало развитию другого.

В первой половине XVII в. большие новые идеи появляются в европейской математике. В середине XVII века Ньютон и Лейбниц создают дифференциальное и интегральное исчисление, ставшее математической основой современного естествознания, а несколько ранее трудами Декарта и Ферма был создан координатный метод, позволивший переводить геометрические задачи на алгебраический язык.

Математика начинает играть особую роль в естествознании – опора на математику становится методологической нормой. Начиная с работ Галилея, математическая символика практически полностью вытеснила каббалистическую, алхимическую и прочие средневековые символические системы. А успехи ньютоновой теории тяготения (в частности, вывод на ее основе законов Кеплера) окончательно закрепили положение математики как «языка науки». Усилиями Декарта, Галилея, Ньютона закладываются новые принципы познания природы, формируется новая методология познания и новое мировоззрение. Естествознание, возникшее в Европе на базе философии и религии, стало своеобразным синтезом этих двух ветвей. По мере того, как наука все больше доказывала свою эффективность и практическую значимость, она все дальше отходила от своих религиозных и мистических корней.

Тема 4: Классический этап естествознания

4.1. Классическая картина мира.

4.2. Представления о материи и веществе. Зарождение научной химии. Периодическая система Менделеева.

4.3. Эволюционные идеи в естествознании Нового времени.

4.4. Математизация естествознания.

4.5. Развитие физики в XIX веке.

4.1. Классическая картина мира

Классический этап естествознания охватывает период с конца XVII до конца XIX века (так называемое «Новое время»). В естествознании той эпохи ведущую роль играла физика. В силу этого мировосприятие европейской цивилизации Нового времени определялось физической картиной мира, основу которой составляли идеи Декарта, Галилея и Ньютона о пространстве, времени, материи, движении, происхождении и структуре Вселенной. На базе этих представлений и успехов астрономии и физики XVIII–XIX вв. сформировалась та картина мира, которую принято называть *классической*.

Основу нового представления о мироздании составила ньютоново-картезианская космология. Согласно ей, Бог сотворил Вселенную как сложную механическую систему, состоящую из материальных частиц, которые движутся в пустом пространстве, подчиняясь законам инерции и гравитации. В противовес Аристотелю, разделившему мир на подлунный и надлунный, утвердилось представление о том, что земная и небесная материя подчиняются одним и тем же законам. Для решения вопроса о конечности или бесконечности Вселенной Ньютон привлек открытый им закон всемирного тяготения. В конечной Вселенной вся материя под действием сил тяготения должна была бы слиться в общую массу, чего на самом деле нет. Напротив, в бесконечной Вселенной образуется «бесконечное количество больших масс, рассеянных по всему бесконечному объему». Поэтому Ньютон считал Вселенную бесконечной, вечной и неизменной, имеющей начало во времени и не имеющей конца. Что касается основных физических субстанций – пространства и времени – Ньютон характеризует их в своей основополагающей работе «Математические начала натуральной философии» следующим образом. «Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, безо всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и не подвержено никаким внешним воздействиям. Абсолютное пространство по самой своей сущности и независимо от внешних факторов остается всегда неизменным и неподвижным».

В рамках классической картины мира природа рассматривалась как сложная механическая система. В механистической модели мира считалось, что все физические взаимодействия можно свести к механическим воздействиям сил притяжения и отталкивания. Поэтому вся Вселенная уподоблялась гигантской детерминированной машине, в которой все происходящие в ней явления представляют собой цепь причин и следствий.

Пространство представлялось как простое «вместилище» тел. Пространство трёхмерно и его основные свойства описываются геометрией Евкли-

да. Одномерное время «протекает» равномерно независимо от пространства и содержащейся в нём материи. Движение рассматривалось как перемещение в пространстве по непрерывным траекториям.

В классической физике фундаментальным является понятие *силы*. Сила трактовалась как физическая мера взаимодействия тел. Зная силы, действующие на любое тело, можно по законам Ньютона рассчитать его движение, причём движение земных и небесных тел подчиняется одним и тем же законам. Считалось, что движение непрерывно и однозначно определено действующими силами, а законы движения рассматривались как воплощение детерминированной (однозначной) связи между причиной и следствием.

Концепция детерминизма базируется на общефилософском *принципе причинности*: всё происходящее в мире имеет свою причину и приводит к определённому результату. Детерминизм не оставляет места случаю: не существует случайности, которая не может быть понята как необходимость. Крайней формой детерминизма является так называемый *лапласовский детерминизм*, согласно которому «будущее полностью предопределено настоящим». Например, если известны координаты и скорости всех тел замкнутой системы, то возможно абсолютно точно указать состояние такой системы в будущем. Принцип причинности, оправдывающий себя в мире механических явлений, физиками XVII–XIX веков был экстраполирован (распространен) и на другие природные явления. Абсолютизация лапласовского детерминизма приводит к тезису (сформулированному Лапласом), о том, что «существо, способное охватить всю совокупность данных о состоянии Вселенной в какой-то момент времени, могло бы не только точно предсказать будущее, но и до мельчайших деталей восстановить прошлое».

Классическое естествознание обусловило соответствующую методологию, которую иногда называют «классической парадигмой». Укажем ее характерные черты.

1. *Методология классического естествознания базировалась на существовании в природе однозначных причинно-следственных связей, которые описываются законами, подобными законам Ньютона (принцип причинности). Закономерность всех происходящих в мире явлений не оставляла места случайности. Случайность рассматривалась как результат неполноты знаний, а потому она «изгонялась» из научных представлений.*
2. *Считалось, что изучение любого сложного явления может быть сведено к изучению его более простых составных частей (принцип редуционизма). Далее этот принцип может быть применен к составным частям и т.д.*
3. *В методологии классического естествознания принимался «постулат разделения субъекта и объекта», состоящий в том, что наблюдатель отстранен от объекта исследования и может в принципе постичь все его свойства, не нарушая «естественного хода вещей».*

4. *Считалось, что природа повторяется на всех своих уровнях, поэтому микромир, макромир и мегамир аналогичны между собой (принцип подобия).*
5. *Природа в целом воспринималась как завершенная и лишенная возможностей дальнейшего развития (принцип статичности).*

Классическая картина мира просуществовала в науке до конца XIX в. С созданием в начале XX в. теории относительности и в дальнейшем – квантовой механики – стало ясно, что мир устроен много сложнее, чем это представлялось Ньютону.

4.2. Представления о материи и веществе. Зарождение научной химии. Периодическая система Менделеева

Понятие материи тесно связано с понятием *вещества*. Зарождение теоретической химии как науки о веществах и их взаимодействиях происходит в конце XVII в. Оно было связано с работами английского физика Роберта Бойля (1627–1691), получившего известность благодаря открытию зависимости объема газа от давления (закона Бойля-Мариотта). Бойль разработал основы качественного химического анализа растворов, им были сформулированы отличительные признаки кислот и установлено, что свойства кислот «исчезают», если их привести в соприкосновение со щелочами. В трактате «Химик-скептик» (1661 г.) Бойль отверг утверждение античных философов «о четырех стихиях», а также бытовавшее в то время «учение о трех началах» (серы, ртути и соли) и изложил основы корпускулярной теории. Важным вкладом Бойля в теоретическую химию явилось научное толкование понятия химического элемента как предела разложения вещества на составные части. Определив главный объект химии – химический элемент – Бойль тем самым поставил химию на научную основу. Он указал совершенно новую для химии задачу выделения в чистом виде отдельных веществ и установления их свойств и состава. Таким образом, Бойль положил начало преобразованию химии из ветви физики, какой она являлась до конца XVII века, в самостоятельную науку, имеющую свой предмет и метод исследования.

Вторая половина и, особенно, последняя четверть XVIII в. ознаменовались экспериментальными открытиями в области химии: были открыты кислород, водород, азот, хлор, установлен состав воздуха и воды. Если к началу XVIII в. было известно всего 13 химических элементов, то к концу века – 32 элемента, а к 60-м годам XIX в. – свыше 60-ти. Заметим попутно, что на сегодняшний день известно 120 химических элементов, из них 92 встречаются в природе, а остальные созданы в лабораториях.

Значительные достижения физики и химии второй половины XVIII века связаны с именем М.В. Ломоносова (1711–1765). В его химической лаборатории были сделаны важные исследования теоретического и прикладно-

го характера (в частности, установлена растворимость металлов в кислотах и солей в воде, произведен анализ металлических руд и др.). Ломоносов одним из первых высказал отрицательное отношение к существовавшей тогда «теории теплорода» и дал правильное толкование сущности теплоты. Значительный вклад Ломоносов внёс в такие научные области, как геология, горное дело, металлургия. Он занимался также совершенствованием астрономических приборов и использованием их в мореплавании. В астрономии Ломоносову принадлежит важное открытие – обнаружение атмосферы на планете Венера. В середине XVIII века М.В. Ломоносов сформулировал закон сохранения массы веществ, участвующих в химических реакциях. Первое изложение этого закона дано в письме Ломоносова к Эйлеру в 1748 г.: «Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что, сколько у одного тела отнимается, то столько же присовокупляется к другому».

Один из основоположников химии – французский учёный Антуан Лавуазье (1743–1794). Ему принадлежит, в частности, решение проблемы горения. В то время доминирующей точкой зрения на существо процесса горения была *теория флогистона*, согласно которой причиной горения тела является наличие в нём особой субстанции (флогистона). Лавуазье доказал, что горение представляет собой соединение веществ с кислородом, одним из газов, составляющих воздух. В биологии Лавуазье определил сущность процессов дыхания и пищеварения. В результате проведённых им опытов было показано, что в организме происходят процессы, аналогичные процессу горения. На основании этих опытов был составлен общий химический баланс организма. Лавуазье показал, что все химические превращения одних веществ в другие сводятся к изменению сочетаний элементов (т.е. веществ, не разделяемых далее химическим путём).

В тот период главной в химии была проблема химического состава веществ. Значительных успехов в решении этой проблемы добился английский химик Джон Дальтон (1766–1844). Он, в частности, открыл *закон кратных отношений*, утверждающий, что элементы вступают в соединения только в целых, кратных отношениях. Отсюда следует вывод о дискретной структуре вещества. Именно Дальтон ввёл в современную науку представление об атомах как мельчайших единицах материи, а также понятие *атомного веса* (учение древнегреческих атомистов не получило дальнейшего развития, так как Аристотель был его противником, считая материю бесконечно делимой). В своем фундаментальном труде «Новая система химической философии» (1808) Дальтон сформулировал важное положение, которое в дальнейшем легло в основу химии: «каждому химическому элементу соответствует свой тип атома». Именно соединение атомов различных типов в определенных пропорциях приводит к образованию наблюдаемых в природе химических веществ.

Важную роль в развитии химической атомистики сыграли работы шведского химика Й. Барцеллиуса. В 1826 г. он опубликовал первую таблицу атомных весов химических элементов, причём атомные веса всех элементов были

соотнесены с кислородом, атомный вес которого был принят за сто. В начале XIX века окончательно утвердился *закон постоянства состава* (Ж. Пруст), согласно которому каждое химическое соединение, независимо от способа его получения, состоит из одних и тех же элементов, весовые отношения между которыми всегда постоянны.

В 1869 г. Д.И. Менделеев предложил классификацию химических элементов, взяв за её основу атомный вес (атомный вес элемента показывает – во сколько раз атом данного элемента тяжелее водорода). При расположении химических элементов в порядке возрастания их атомных весов обнаруживается периодическая повторяемость их химических свойств. Периодический закон Менделеева сводит качественные различия между атомами различных элементов к простым количественным свойствам атомов. Периодичность химических элементов перечеркнула сложившееся к тому времени представление о случайности различных видов атомов в природе, указала на существование органической связи между разными химическими элементами и способствовала осознанию того факта, что атом есть сложная материальная структура, а не просто «мельчайший комочек вещества». Периодический закон Д.И. Менделеева, а также созданная в 60-е годы XIX в. теория химического строения А.М. Бутлерова завершают длительный процесс становления атомно-молекулярного учения.

4.3. Эволюционные идеи в естествознании Нового времени

На рубеже XVII и XVIII вв. в результате развития промышленности, транспорта, роста городов происходит резкое увеличение производства сырья и продовольствия. Это, в свою очередь, повлекло развитие наук, связанных с сельским хозяйством: биологии, агрономии, селекции растений и животных. В связи с производством искусственных удобрений, красителей, развитием металлургии, промышленной нефте- и газодобычи мощный импульс получили такие науки, как физика, химия, геология, минералогия.

Для решения новых задач потребовалась и новая методология, учитывающая связи между различными формами движения. Всё это привело к становлению в естествознании нового подхода к явлениям природы, основанного на эволюции процессов и явлений действительности и учёте взаимосвязей между ними. Тем самым в метафизический взгляд на природу, сложившийся в XVI–XVII веках под влиянием механицизма, постепенно проникает идея всеобщей связи, утверждается *принцип развития*, то есть *диалектика*.

До середины XVIII в. большинство ученых считало, что природа неизменна с момента ее сотворения Богом. Первую брешь в этих представлениях пробил немецкий философ И.Кант. В 1755 г. появилась «Всеобщая естественная история и теория неба» Канта, в которой Земля и Солнечная система рассматривались не как сотворённые, а как произошедшие во времени. В 1792

г. эта гипотеза была развита французским математиком и астрономом П. Лапласом и в дальнейшем она вошла в историю науки как *космогоническая гипотеза Канта-Лапласа*. В ней рисуется грандиозная картина эволюции Вселенной, рождения и гибели миров, космического круговорота материи.

Эволюционные идеи, касающиеся развития Земли, высказывал русский ученый М.В. Ломоносов. В своем трактате «О слоях земных», опубликованном в 1763 г., он говорит об изменчивости природы, подвергая критике тех, кто в разнообразии природных явлений усматривает божественное начало. В этой работе рассматриваются причины образования гор и вулканов, работа поверхностных и подземных вод, образование каменного угля и нефти. В ней же сформулирован важный принцип геологии: по наблюдениям современных процессов судить о ходе таких же процессов в далеком геологическом прошлом (*принцип актуализма*).

С конца XVII в. начинает развиваться новый раздел биологии, тесно связанный с пониманием эволюции жизни – микробиология. Первопроходцем в этой области явился создатель первых микроскопов голландец Антони Ван Левенгук. В 1676 г. с помощью отшлифованных им линз он впервые увидел бактерии. Так как Левенгук повсюду находил микроорганизмы, то им был сделан вывод о повсеместном распространении микроорганизмов в природе.

В XVII веке в математике было разработано дифференциальное и интегральное исчисление – аппарат анализа динамических процессов и явлений (Ньютон, Лейбниц). Декарт создаёт аналитическую геометрию, благодаря которой греческая математика – геометрия – соединяется с арабской математикой – алгеброй.

XVIII век, вошедший в историю цивилизации как *век просвещения*, своим идеалом считал научное объяснение всех явлений природы, причём центрирующим элементом научного знания выступала математика. Недаром крупнейшие французские учёные (Лаплас, Даламбер, Лагранж) были математиками, внесшими также значительный вклад в физику и астрономию. Энциклопедизм – характерная примета той эпохи. В 1728 г. выходит 2-томная английская энциклопедия, в 1732 – 1759 гг. – немецкая в 64 томах, с 1751 г. по 1765г. – «Великая французская энциклопедия», являвшаяся фактическим собранием всех научных знаний той эпохи. Ставилась задача устранения субъекта из познания мира. Идеалом научной истины считалась абсолютная, окончательная истина «на все времена». Образцом в этом отношении выступали законы Ньютона. Следующие слова, принадлежащие выдающемуся математику второй половины XVIII – начала XIX вв. Жозефу Лагранжу, характеризуют отношение ученых той эпохи к заслугам Ньютона в описании мира: «Ньютон был счастливейшим из смертных, ибо существует только одна Вселенная, и Ньютон открыл ее законы».

XIX век характеризуется дальнейшим проникновением эволюционных идей в различные области знания, причём в наибольшей степени это коснулось наук, не охваченных математическими нормами – геологии, биологии, па-

леонтологии. Так, в геологии возникает теория развития Земли (Ч. Лайель, 1830), в биологии – эволюционная теория Ж.-Б. Ламарка (1809), создаётся палеонтология (Ж. Кювье) и эмбриология (К. Бэр). В 1828 г. Ф. Вёлер произвел эксперимент по превращению цианида аммиака в органическую молекулу мочевины. Впервые в лаборатории было создано биологическое соединение, что в корне изменило существовавшие в то время представления о возникновении жизни и явилось началом органической химии. Выдающуюся роль в утверждении эволюционных представлений о природе сыграли «три великих открытия естествознания XIX века» (по характеристике Ф. Энгельса): клеточная теория (Т. Шванн, М. Шлейден, 1839), закон сохранения и превращения энергии (Р. Майер, 1842, Д. Джоуль, 1843) и эволюционное учение Ч. Дарвина (1859). Убедительным доказательством материального единства мира явилось открытие периодической системы элементов (Д.И. Менделеев, 1869), создание теории химического строения органических соединений (А.М. Бутлеров, 1861), основ научной физиологии (И.М. Сеченов, 1863), электромагнитной теории света (Дж. Максвелл, 1873). Во второй половине XIX в. были открыты законы термодинамики. В частности, знаменитый второй закон термодинамики, носящий эволюционный характер.

Одним из важнейших достижений естествознания XIX века явилось открытие *закона сохранения и превращения энергии*, который вместе с открытым ранее *законом сохранения массы*, обнаружил способность энергии к различным превращениям, несотворимость и неуничтожаемость материи и энергии. Тем самым было получено научное доказательство единства и целостности мира.

4.4. Математизация естествознания

Естествознание Нового времени начинается с Ньютона. В своей философии Ньютон следовал принципам, сформулированным Галилеем. Важнейший из них состоит в том, что наука должна стремиться не к физическому объяснению явлений природы, а к их математическому описанию. При этом основные физические посыпки надлежит устанавливать с помощью индукции, обрабатывая результаты экспериментов и наблюдений. В рамках этой философии Ньютон изменил всю методологию научного познания, приняв за основу математические посыпки вместо физических гипотез.

Наиболее ярко эта методология проявилась при изучении механического движения. Если Галилей установил законы движения тел вблизи земной поверхности, а Кеплер – законы движения небесных тел, то Ньютон поставил перед собой грандиозную задачу – описать движение всех тел Вселенной. При этом Ньютон исходил из посылки, что все законы движения должны следовать из небольшого числа универсальных законов. Можно предположить, что эта идея мотивировалась религиозностью Ньютона: так как все явления природы

подчиняются планам ее творца, Бог мог руководствоваться некоторым скрытым принципом, имеющим математическую формулировку. Ньютон блестяще реализовал свою программу описания движения всех тел, сформулировав три закона движения (законы Ньютона) и закон всемирного тяготения.

В XVII в. потребности естествознания и техники стимулируют создание методов, изучающих движение, процессы изменения величин, преобразования геометрических фигур. Аналитическая геометрия, созданная Декартом, и дифференциальное и интегральное исчисление, созданное Ньютоном и Лейбницем, знаменуют начало «высшей математики» – математики переменных величин. Методы аналитической геометрии позволили решать геометрические задачи с помощью алгебры и анализа. Взамен понятия числа на первый план выдвигается понятие функции, которое становится центральным понятием математического анализа. Основные законы механики и физики записываются в форме дифференциальных уравнений, и важнейшей задачей математики становится задача их интегрирования.

На протяжении XVII в. глубокие математические результаты проникают только в одну науку – механику. В других областях естествознания применение математики ограничивается установлением простейших количественных закономерностей (например, закон Бойля – Мариотта в химии, закон Гука в теории упругости). Новые серьезные задачи ставит перед математикой картография, баллистика, гидравлика, навигация. Образцом применения математики к решению технических задач того времени может служить книга Х. Гюйгенса «Маятниковые часы» (1673 г.). В ней, помимо описания изобретенных им маятниковых часов, исследован ряд математических и физических проблем, связанных с движением маятника. В 1690 г. выходит еще одна книга Гюйгенса «Трактат о свете», в которой впервые в ясной отчетливой форме излагается созданная Гюйгенсом волновая теория света и даются ее применения к объяснению оптических явлений.

В XVIII в. деятельность математиков сосредотачивалась в области математического анализа и его приложений к механике. Важное место занимала математика также в астрономических исследованиях. Характерной приметой эпохи было то, что у власти в ведущих европейских странах находились «просвещенные деспоты»: Фридрих II в Германии, Людовики XV и XVI во Франции, Екатерина Великая в России. Они любили окружать себя учеными людьми, что объясняется, с одной стороны, интеллектуальным снобизмом этих правителей, а с другой, – пониманием значения естествознания и прикладной математики в деле развития производства и повышения боеспособности вооруженных сил. Крупнейшие математики XVIII века – Леонард Эйлер, Жозеф Лагранж, Пьер Лаплас, наряду с разработкой разнообразных направлений в математике, активно занимались прикладными задачами: Эйлер рассматривал вопросы кораблестроения, Лагранж создавал основы аналитической механики, Лаплас был видным астрономом своего времени. «Король математиков» Карл Фридрих Гаусс, большая часть научной жизни которого приходится уже на

XIX в., владел в равной мере как чистой, так и прикладной математикой; в частности из прикладных исследований Гаусс выполнил ряд работ по астрономии, геодезии, земному магнетизму. Традиция сочетания «чистых» и «прикладных» направлений характерна и для многих выдающихся математиков последующих эпох. Так, крупнейший математик второй половины XIX в. Анри Пуанкаре обогатил своими исследованиями такие разделы физики, как теория потенциала, оптика, электромагнетизм, теплопроводность, гидродинамика, термодинамика, небесная механика. Глава русской математической школы середины и второй половины девятнадцатого столетия П.Л. Чебышев, получивший первоклассные результаты в таких теоретических областях математики, как теория чисел, теория вероятностей, теория интерполяции, вместе с тем много и плодотворно занимался кинематикой различных механизмов.

В XIX в. математика в наибольшей степени развивалась в двух странах – Франции и Германии (отметим попутно, что именно там происходили или намечались радикальные преобразования, подготовившие почву для нового экономического и политического строя – капитализма). Возникающие математические направления постепенно освобождались от прежней тенденции – находить конечную цель точных наук в механике или астрономии.

В девятнадцатом веке математики перестают быть «завсегдатаями» королевских дворов и аристократических салонов. Обычно они работают в университетах или технических колледжах, занимаясь, наряду с наукой, также и преподаванием. Основанная в 1794 г., Парижская политехническая школа вскоре превратилась в ведущее учебное заведение Франции и стала образцом для всех технических и военных школ начала девятнадцатого века. При этом важнейшей составной частью ее учебного плана было преподавание как теоретической, так и прикладной математики. Самыми выдающимися математиками, связанными с Политехнической школой в ее раннем периоде, были Жозеф Лагранж, Гаспар Монж, Симеон Пуассон, Жозеф Фурье и Огюстен Коши. Все они, являясь первоклассными математиками, глубоко интересовались приложениями математики к механике и физике. Тщательно изучалась и применялась на практике «Аналитическая механика» Лагранжа. Благодаря работам Г. Монжа в раздел геометрии превратилась начертательная геометрия и в дальнейшем – проективная геометрия, в становление которой решающий вклад внес ученик Монжа Виктор Понселе. Пуассона цитируют в учебниках и научных работах по математике и физике вплоть до настоящего времени: скобки Пуассона в теории дифференциальных уравнений, постоянная Пуассона в теории упругости, уравнение Пуассона в теории потенциала. Ряды Фурье являются основным аппаратом в теории уравнений в частных производных при решении граничных задач. В то же время, Фурье был автором математической теории теплопроводности, а его книга «Аналитическая теория теплоты» стала источником всех современных методов математической физики. О.Коши придал математическому анализу тот уровень строгости, который сохранился до настоящего времени. Благодаря ему, теория функций комплексного переменного

превратилась в самостоятельный раздел математики. В то же время, Коши внес вклад в такие разделы физики, как оптика и механика, а также явился одним из основателей математической теории упругости.

Со второй половины XIX века в связи с потребностями промышленности широко разворачиваются исследования связей между механическим движением и теплотой, электричеством, магнетизмом, химическими процессами; разрабатываются основы термодинамики, молекулярно-кинетическая теория, кинетическая теория газов – все это выдвигает физику на ведущие позиции среди всех других наук. Решение возникающих физических задач стимулирует появление и развитие новых разделов математики: методы математического анализа начинают применяться в электродинамике, теории упругости, в задачах передаче звука через твердые тела, в исследованиях распространения волн и явлений земного магнетизма. При этом наблюдается определенная преемственность между математикой первой и второй половины девятнадцатого века. Так, начатые Фурье математические исследования теплопроводности привели к созданию более общей науки о теплоте – термодинамике – после того, как в середине XIX века было сформулировано второе начало термодинамики и введено понятие энтропии. Дальнейшее усовершенствование математического аппарата термодинамики связано с выходом за пределы математического анализа и введением в кинетическую теорию газов теоретико-вероятностных представлений. Новые задачи приходят в математику из астрономии, механики, геодезии и других наук. В связи с переходом к машинной индустрии, развитием строительства и военной техники дополнительный импульс получают такие разделы математики, как начертательная и проективная геометрии.

4.5. Развитие физики в XIX веке

Естествознание XVI–XVII вв. было связано с производством, энергетической базой которого служило механическое движение. В конце XVIII века промышленность Европы вступает в стадию крупного машинного производства. Основной формой энергии, используемой в промышленности и на транспорте, становится тепловая энергия. В физике начинается активное изучение вопросов преобразования различных видов энергии в тепловую и тепловой энергии в механическую.

Среди всех видов энергии теплота занимает особое место: любой вид энергии легко переходит в тепловую, однако тепловая энергия превращается в другие виды энергии с некоторыми ограничениями и всегда не полностью. Дело в том, что тепловая энергия – это *энергия неупорядоченного, хаотического движения*, в то время как другие виды энергии связаны с упорядоченным движением. Порядок легко превращается в хаос, гораздо сложнее превратить хаос в порядок.

В XIX веке в рамках физики возникли две науки, изучающие теплоту: **статистическая физика** и **термодинамика**. Английский ученый Джеймс Максвелл, занимаясь кинетической теорией газов, понял, что невозможно «рассчитать» скорость или положение отдельной частицы. Задача должна ставиться по-другому, например, найти *долю* частиц, имеющих скорость, находящуюся в заданных границах, или найти среднее значение скоростей частиц. Максвелл обнаружил, что скорости частиц газа распределены по тому же закону, по которому распределяются ошибки наблюдений (то есть они подчиняются гауссовскому, или нормальному, распределению). Впервые в естествознание на смену детерминированным законам пришли статистические законы, которые указывают вероятности определенных событий или усредненные характеристики некоторых величин.

Если статистическая физика основана на изучении микроскопических свойств, присущих микроэлементам системы, то термодинамика изучает макроскопические свойства системы, доступные прямому измерению (например, объем, давление, температуру и т.д.). Основным в термодинамике является понятие *термодинамической системы* (короче – системы), которая находится в определенной *среде*. Термодинамика строится на некоторых фундаментальных положениях, так называемых *началах*. **Первое начало термодинамики** является математическим выражением закона сохранения и превращения энергии применительно к термодинамическим системам и формулируется в терминах внутренней энергии системы (под *внутренней энергией системы* понимается энергия, которая заключена в телах, составляющих эту систему). Внутренняя энергия системы может меняться за счёт двух факторов:

- 1) работы, совершаемой внешними телами над этой системой;
- 2) сообщения системе некоторого количества теплоты.

Согласно закону сохранения энергии общее количество энергии объединённой системы (включающей исходную систему и среду) должно оставаться неизменным, поэтому *приращение внутренней энергии системы равно сумме совершённой над ней работы и сообщённой ей теплоты*.

Это утверждение составляет *первый закон* термодинамики. В эквивалентной форме он может быть представлен в виде следующего утверждения: *работа, совершаемая термодинамической системой над внешними телами, может осуществляться либо за счёт получения ею тепла извне, либо за счёт уменьшения её внутренней энергии*.

Отсюда следует невозможность построения «вечного двигателя», то есть машины, которая совершала бы работу без потребления энергии извне: работа может осуществляться только за счёт уменьшения внутренней энергии термодинамической системы, которая, в конце концов, исчерпается. Первое начало термодинамики фактически служит «энергетическим балансом» термодинамических процессов, в то время как **второе начало термодинамики** устанавли-

вает направление протекания термодинамических процессов. В формулировке немецкого физика Р. Клаузиуса оно состоит в том, что *невозможен процесс, при котором теплота самопроизвольно переходила бы от более холодных тел к более нагретым телам.*

В 1854 г. Клаузиус ввёл понятие *энтропии* как меры необратимого рассеяния теплоты в термодинамических процессах. Энтропия системы является ее важнейшей макроскопической характеристикой. При количественной эквивалентности двух форм энергии – теплоты и работы, утверждаемой первым законом термодинамики, второй закон термодинамики устанавливает их качественную неэквивалентность: тепловая энергия в работу превращается не полностью, а лишь частично. Оставшаяся часть теплоты передаётся другим телам, повышая их энтропию, так что общий уровень энтропии замкнутой системы возрастает.

Австрийский физик Людвиг Больцман (1844–1906) дал статистическое истолкование энтропии в терминах термодинамической вероятности (термодинамической вероятностью некоторого состояния системы понимается число элементарных исходов, реализующих это состояние). В рамках статистической физики возрастание энтропии означает переход системы от менее вероятных состояний к более вероятным. Наиболее вероятное состояние термодинамической системы – состояние *теплового равновесия*, при котором прекращаются все виды теплообмена и температура всех составляющих термодинамической системы одинакова. Оно соответствует максимуму энтропии. Поэтому энтропия не только характеризует направленность природных процессов (выражением чего является закон роста энтропии в замкнутых системах), но она также является *мерой беспорядка (мерой хаоса)* системы, состоящей из большого числа частей. Рост энтропии означает рост хаоса, а уменьшение энтропии – уменьшение хаоса и, следовательно, увеличение упорядоченности системы.

Выдающимся достижением физики XIX в. явилось обнаружение *электромагнетизма* и создание теории *электромагнитного поля*. Основы экспериментальной электродинамики были заложены опытами датского физика Эрстеда в начале XIX в. В частности, Эрстед обнаружил, что ток, протекающий в прямолинейном проводнике, отклоняет магнитную стрелку, то есть электрический ток производит магнитное действие. Английский ученый Майкл Фарадей (1791-1867) поставил перед собой задачу – доказать обратное, то есть что магнетизм можно превратить в электричество. Усилия Фарадея завершились блестящим успехом: в 1831 г. он открывает явление *электромагнитной индукции*. Это открытие поставило Фарадея в один ряд с выдающимися учеными Нового времени и обессмертило его имя. Вот какую оценку дает ему известный историк науки Джон Бернал. «Открытие Фарадея имело также значительно большее практическое значение по сравнению с открытием Эрстеда потому, что оно означало возможность получения электрического тока механическим путем, а также обратную возможность приведения в действие машин с помо-

пью электрического тока. По сути дела, в этом открытии Фарадея заключалась судьба всей тяжелой электропромышленности, однако потребовалось чуть ли не 50 лет для того, чтобы оказалось возможным извлечь все вытекающие из него выводы». В конце своей научной деятельности Фарадей приходит к идее о передаче электромагнитных взаимодействий посредством электрических и магнитных полей, которые он представлял как состояния эфира, пронизанного силовыми линиями.

В середине XIX в. выдающийся английский ученый Джеймс Клерк Максвелл (1831-1897), основываясь на идеях Фарадея, объединил учение об электрических и магнитных явлениях в единую теорию – *электродинамику* (до этого электрические и магнитные явления длительное время изучались отдельно). В 1865 г. Максвелл опубликовал свою фундаментальную работу «Динамическая теория электромагнитного поля», в которой было введено понятие электромагнитного поля и получены математические уравнения электродинамики. Согласно Максвеллу, состояние электромагнитного поля характеризуется четырьмя векторами: векторами напряженности электрического и магнитного поля, а также электрической и магнитной индукции. Уравнения Максвелла позволяют при заданных начальных значениях параметров поля и граничных условиях для некоторого объема выявить динамику электромагнитного поля, т.е. определить указанные четыре вектора в любой момент времени.

Из уравнений Максвелла следовало, что в электромагнитном поле существуют волны, которые распространяются с огромной, но все же конечной скоростью 300 000 км/с. То, что скорость распространения электромагнитных волн с высокой точностью совпадает со скоростью света в вакууме, навело Максвелла на мысль, что свет представляет собой электромагнитные волны определенного диапазона частот. Таким образом, Максвелл сделал решающий шаг в построении единой теории разных физических взаимодействий, объединив в своей электродинамике электричество, магнетизм и свет. Эта теория объяснила множество явлений, связанных со светом (таких, как интерференция, дифракция, преломление, отражение, рассеяние).

Первое экспериментальное подтверждение теории электродинамики произошло в 1887 году: Генрих Герц создал генератор электромагнитных волн и смог осуществить их прием на некотором расстоянии от передатчика. Так впервые были искусственно созданы радиоволны.

Обнаружение конечной скорости распространения электромагнитных волн ставит крест на концепции дальнего действия. А. Эйнштейн и Л. Инфельд охарактеризовали новый этап развития физики следующими словами: «Результаты работ Фарадея, Максвелла и Герца привели к развитию современной физики, к созданию новых понятий, образующих новую картину действительности».

Какова же природа электромагнетизма? Фарадей и Максвелл вначале пытались все электромагнитные явления свести к механическим напряжениям в гипотетической среде – эфире, который, как тогда считалось, «заполняет» всё

пространство. Несмотря на настойчивые попытки, такая механическая трактовка не увенчалась успехом. Постепенно они пришли к понятию *поля*, совершенно новому для того времени элементу физической реальности. Согласно «полевой трактовке», электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно, через пустоту: каждый из них создаёт вокруг себя электрическое и магнитное поле наподобие невидимого ореола; поле одного заряда действует на другой и обратно.

Электромагнитное поле представляет собой особую форму материи, не подчиняющуюся законам механики. Суммарно это проявляется в следующем.

1. Областью действия законов механики являются только те точки, где находится вещество. В то же время областью действия законов электромагнитного поля является всё пространство.
2. Механические взаимодействия подчиняются уравнениям Ньютона, электромагнитные – уравнениям Максвелла.
3. Если в классической физике взаимодействие тел происходит без участия среды, то в теории электромагнетизма именно среда является носителем процессов, передающих взаимодействие.
4. *Концепция дальнего действия*, господствующая в миропонимании со времён Ньютона, сменилась *концепцией ближнего действия*. Взамен «мгновенного действия силы через пустоту и без посредников» пришло понимание действия силы через среду, происходящее не мгновенно, а с конечной скоростью.

Заключение

Физика XIX в. завершает классический этап развития научного знания. К концу XIX в. физики считали, что основные законы мироздания уже открыты. Действительно, уже более двухсот лет были известны законы механики и закон всемирного тяготения Ньютона; была построена теория электромагнетизма и получены уравнения Максвелла; обнаружены мельчайшие носители свойств веществ – молекулы и атомы; разработана статистическая физика и термодинамика; создана концепция валентности и построена периодическая система Менделеева; открыты законы сохранения массы, энергии, импульса. Однако на рубеже XIX–XX вв. в естествознании (главным образом, в физике) были сделаны открытия, опрокинувшие сложившиеся представления о материи, её свойствах, формах движения, а также о структуре пространства и времени. Это привело к кризису физики и всего естествознания. Классический этап естествознания закончился. Началась эпоха современного естествознания.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ К ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ

1. *Бернал Дж.* Наука в истории общества / Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1956.
2. *Брайсон Б.* Краткая история почти всего на свете / Пер. с англ. М.: Гелеос, 2007.
3. *Будыко М.И.* Путешествие во времени. М.: Наука, 1990.
4. *Волков Г. Н.* Социология науки. М.: Изд-во полит. лит., 1968.
5. *Дягилев Ф.М.* Концепции современного естествознания. М.: ИМ ПЭ, 1998.
6. *Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И.* Уставы небес. М.: Айрис Пресс, 2004.
7. *Кириллин В.А.* Страницы истории науки и техники. М.: Наука, 1986.
8. *Кирсанов В.С.* Научная революция XVII века. М.: Наука, 1987.
9. *Клайн М.* Математика. Утрата определенности / Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
10. *Клайн М.* Математика. Поиск истины / Пер. с англ. М.: Мир, 1988.
11. *Колмогоров А.Н.* Математика в ее историческом развитии. М.: Наука, 1991.
12. *Новиков И.Д.* Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1979.
13. *Розен В.В.* Концепции современного естествознания. Конспект лекций. М.: Айрис Пресс, 2004.
14. *Соломатин В.А.* История науки. Учебное пособие.- М.: ПЕР СЭ, 2003.
15. *Стройк Д.Я.* История математики. М.: Наука, 1964.
16. *Торосян В.Г.* Концепции современного естествознания. М.: Высш.шк., 2002.
17. *У истоков классической науки // Сб. статей.* М.: Наука, 1968.
18. *Штаерман Е.М.* Кризис античной культуры. М.: Наука, 1975.
19. *Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. М.: Наука, 1965.

Фундаментальные идеи
естествознания XX века

Раздел второй

Тема 5: Крушение механистической картины мира.

Макро-, микро- и мегамир.

Структурно-масштабная иерархия

- 5.1. *Начало крушения механистической картины мира.
Полевая картина мира.*
- 5.2. *Макромир.*
- 5.3. *Особенности микромира.*
- 5.4. *Структура мегамира.*
- 5.5. *Структурно-масштабная иерархия.*

5.1. Начало крушения механистической картины мира. Полевая картина мира

Во второй половине XIX в. большинство ученых было убеждено, что все физические явления сводятся к механическим взаимодействиям и могут быть объяснены на основе механических принципов – этому способствовали, главным образом, блестящие достижения механики, основанные на законах Ньютона. Механика была поставлена в положение «царицы наук». Развитию механистических представлений способствовали, в частности, успехи в описании на базе механики движения жидкостей и газов, колебания упругих тел, а также создание кинетической теории теплоты: окончательно было установлено, что теплорода не существует, а теплота есть движение. Механистический подход к исследованию природы оказался исключительно плодотворным. На базе механики были созданы *гидродинамика, теория упругости, механическая теория теплоты, молекулярно-кинетическая теория*, с помощью которых было объяснено движение жидкостей и газов, возникновение и передача теплоты и ряд других явлений. Сложившаяся к концу XIX века *механистическая картина мира (механицизм)* уподобляла Вселенную гигантской детерминированной машине, в которой все происходящие в ней явления представляют собой цепь причин и следствий. Механицизм сводит всё качественное многообразие мира к механическому движению однородных частиц материи, а все закономерности природы пытается объяснить законами механики.

Крушение механистической картины мира происходило постепенно. Начало ему было положено открытиями в области электромагнетизма, связанные с именами Фарадея, Максвелла и Герца. Было обнаружено, что электромагнит-

ные взаимодействия, играющие исключительно важную роль и весьма широко распространённые в природе, не являются механическими и не подчиняются законам Ньютона (см. тему 4). Экспериментальное исследование электромагнетизма показало, что взаимодействие электрически заряженных тел осуществляется не мгновенно, а с некоторой конечной скоростью.

Осмысление явления электромагнетизма привело к появлению электромагнитной (полевой) картины мира. Ключевой вопрос при построении картины мира – проблема взаимодействия. Если в рамках механистической картины мира взаимодействие вызывалось силой, действующей мгновенно и через пустоту, то в электромагнитной картине взаимодействие электрически заряженных частиц осуществляется с помощью непрерывной среды – электромагнитного поля – и происходит с конечной скоростью. В механистической картине мира взаимодействие сводилось к движению, причем движение понималось как механическое перемещение, а в электромагнитной картине мира взаимодействие стало пониматься как распространение колебаний в поле, которое описывается не законами механики, а законами электродинамики.

Помимо электромагнитного и гравитационного полей к физическим полям впоследствии были отнесены поля ядерных сил, а также волновые (квантовые) поля, соответствующие разным частицам. В физику, а затем и в естествознание было введено исключительно важное понятие *поля* как особого состояния материи. Фундаментальный тезис: *материя существует в одном из двух видов – вещества или поля* (впрочем, современные физические представления добавляют к ним третий вид материи – *физический вакуум*). Принципиальное отличие поля от вещества состоит в том, что поле непрерывно, а вещество дискретно. Дать общее определение поля, т.е. свести его к чему-либо более элементарному, по-видимому, невозможно. Представление о поле формируется за счёт выявления его характерных свойств. Поле характеризуется, прежде всего, энергией, а не массой, хотя и обладает ею. Наглядно-геометрически поле может быть представлено с помощью силовых линий, т.е. линий, по которым происходит движение зарядов или масс (при этом надо иметь в виду, что силовые линии являются воображаемыми – они не более реальны, чем, например, меридианы на глобусе).

Создание в начале XX века *квантовой теории*, обнаружение квантовых свойств материи привели к корпускулярно-волновым представлениям, которые органически объединили идеи дискретности, присущие механистической картине мира, и идеи непрерывности, присущие *полевой картине мира*. Создаваемые частицами физические поля являются переносчиками взаимодействий между ними, причём взаимодействие всегда осуществляется с конечной скоростью. В квантовой теории взаимодействие рассматривается как обмен квантами поля. После появления квантовой теории поля представление о непрерывности поля было заменено представлением о поле, имеющем дискретную структуру, причём каждому полю соответствуют свои частицы – кванты этого поля.

Реальный мир представляет собой иерархию структур различного масштаба и разного уровня сложности. Если в качестве основной характеристики структур рассматривать их физический размер, то окружающий мир можно подразделить на три мира: *микромир*, *макромир* и *мегамир*. Структуры микро-, макро- и мегамира, расположенные в порядке уменьшения их масштаба, образуют структурно-масштабную иерархию. В классическом естествознании считалось, что микро-, макро- и мегамир сходны по своим свойствам и отличаются лишь масштабом. Наука XX века установила, что эти миры обладают своими специфическими особенностями, не позволяющими переносить, например, свойства макромира на микро- и мегамиры. Ниже дается краткий обзор особенностей этих миров.

5.2. Макромир

К макромиру относят мир человека и окружающих его в повседневной жизни предметов естественного и искусственного происхождения. Все они представляют собой *макроскопические тела*. Эти тела состоят из огромного числа молекул, объединённых в определённые макроскопические структуры. Например, все живые организмы состоят из *биополимеров* (*макромолекул*), которые представляют собой соединённые друг с другом органические молекулы. Размеры макроскопических тел – от долей миллиметра до сотен метров. Тот мир, который человек воспринимает непосредственно (т.е. с помощью органов чувств), есть макроскопический мир. Следует подчеркнуть, что органы чувств человека дают чрезвычайно малый диапазон восприятия. Так, нормальный человеческий глаз способен различать свет с длиной волны от 380 до 760 нм (1 нм – один нанометр – одна десятиллиардная часть метра). Таким образом, воспринимая зрительно электромагнитное излучение в видимом диапазоне, мы совершенно не воспринимаем таких излучений, как гамма-лучи, рентгеновские лучи, а также ультрафиолетовое, инфракрасное и радиоизлучение. Органы слуха человека могут воспринимать упругие колебания среды только в звуковом диапазоне (от 16 до 20 000 Гц), не воспринимая ни инфразвука, ни ультразвука; рецепторы кожи различают температуру в пределах нескольких десятков градусов. Также исключительно узкими являются диапазоны непосредственного восприятия размеров, времени, скорости, массы, энергии.

Хотя степень чувствительности рецепторов сильно уменьшает возможности человеческого восприятия окружающего мира во всем его многообразии, она оказывается достаточной для биологического существования человека как вида. Однако ограниченность восприятия влечет ограниченность представлений об окружающей действительности и, как следствие, обеднение картины

мира. Отражение в человеческом сознании непосредственно воспринимаемого – макроскопического мира – приводит к формированию механистической картины мира.

5.3. Особенности микромира

Микромир – это мир молекул, их составных частей, а также некоторых надмолекулярных структур (например, клеток живых организмов). Размеры и структура молекул изменяются в широком диапазоне: от простейших двухатомных молекул до полимерных молекул, длина которых достигает долей миллиметра.

Микромир обладает особенностями, которые резко отличают его от обычного мира, то есть макромира. Во-первых, объекты микромира не доступны чувственному восприятию, поэтому о них можно судить только по косвенной информации, полученной в результате экспериментов. Далее, при исследовании микромира любое использование приборов искажает картину (в итоге мы получаем информацию не о том, что «было», а о том, что «стало» в результате «вторжения» прибора). Ещё одна принципиальная особенность микромира – отсутствие в нём детерминированных связей и, как следствие, невозможность получения точного описания составляющих его элементов (например, невозможно определить «время жизни» конкретной частицы или определить одновременно её положение и импульс).

Понятие *силы*, играющее важнейшую роль в классической механике, не применимо к объектам микромира. Для объектов микромира адекватным становится энергетическое описание (закон сохранения энергии распространяется и на элементарные частицы, приобретая при этом более сложную форму).

Лишено реального содержания и само понятие субатомной частицы как индивидуального самостоятельного объекта. Герман Вейль объясняет сущность субатомных частиц следующим образом. «Согласно представлениям о строении вещества и теории поля, материальная частица – скажем, электрон – представляет собой не что иное, как небольшой участок электрического поля, в пределах которого напряженность достигает фантастических величин, что свидетельствует о концентрации большого количества энергии в очень малом объеме пространства. Такой сгусток энергии, не имеющий четких границ на фоне всего остального поля, подобно волне на поверхности водоема перемещается в пустом пространстве; поэтому мы не можем утверждать, что электрон состоит из определенной субстанции – таковой просто не существует».

Современная физика отказалась от наглядного образа электрона как «маленького шарика» и предложила представлять его в форме своеобразного

«электронного облака», более плотного в тех точках пространства, где больше вероятность его локализации. Для описания движения электрона в атоме нельзя пользоваться законами Ньютона. В микромире действуют специфические законы квантовой механики, в соответствии с которыми состояние электрона в атоме однозначно определяется набором, так называемых, *квантовых чисел*. В микромире решающую роль играют не свойства микрообъектов сами по себе, а их потенциальные возможности в реализации тех или иных квантовых состояний; в силу этого квантовомеханические характеристики не могут быть приписаны частице независимо от ее взаимодействий с другими частицами. Поэтому свойства субатомных частиц можно понять только в рамках динамической картины мира, в котором беспрестанно происходят их перемещения, столкновения, взаимопревращения и другие взаимодействия. В микромире перестают «работать» привычные методологические принципы, сложившиеся при изучении макромира: принцип причинности, принцип редукционизма, принцип разделения субъекта и объекта.

5.4. Структура мегамира

К мегамиру относят мир космических тел. Основной структурной единицей мегамира является *звезда*. Скопления звёзд называются *галактиками*.

До XX века считалось, что между звёздами ничего нет, т.е. межзвёздное пространство представляет собой вакуум, но это не так. В начале XX века немецкий астроном Гартман методом спектрального анализа обнаружил, что пространство между звёздами заполнено газом, правда, чрезвычайно малой плотности, а по своему химическому составу он близок к химическому составу звёзд. Плотность межзвёздной газовой среды порядка одного атома в см^3 , однако, её нельзя считать вакуумом, так как длина свободного пробега атомов в ней в сотни раз меньше, чем расстояния между звёздами. Межзвёздный газ является сплошной сжимаемой средой, и к нему применимы законы газовой динамики. Вблизи горячих звёзд температура межзвёздного газа достигает 10 тыс. *K*. Однако большая часть межзвёздной среды удалена от звёзд, и её температура порядка 100 *K*. Кроме межзвёздного газа межгалактическое пространство содержит космическую пыль, состоящую из микроскопических частиц, имеющих определённую ориентацию. И космическая пыль, и межзвёздный газ распределены неравномерно – сгустки чередуются с разрежениями.

Достаточно давно были получены косвенные доказательства существования межзвёздных магнитных полей, а в 1962 г. они были обнаружены с помощью прямых наблюдений. Межзвёздные магнитные поля играют решающую

роль при образовании газопылевых облаков межзвёздной среды, из которых в дальнейшем конденсируются звёзды.

Первая особенность мегамира – его масштаб и гигантские расстояния между составляющими его объектами. Для измерения космических расстояний в качестве единицы используется *световой год*. Это расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью 300 000 км/с, проходит за один год. Световой год равен приблизительно 10 000 млрд км. Иногда для измерения межзвёздных и межгалактических расстояний используется особая единица, называемая *парсек* (сокращение слов «параллакс – секунда»). Парсек представляет собой расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом в 1 секунду.

Та галактика, к которой принадлежит Солнце, называется *Галактикой* (с большой буквы); скопление звёзд Галактики мы наблюдаем как Млечный Путь. Всего в Галактике насчитывается около 150 млрд звёзд. Основная часть звёзд Галактики находится в гигантском диске (по форме напоминающем двояковыпуклую линзу), диаметр которой 100 тыс. световых лет, а толщина около 1,5 тыс. световых лет. В Галактике на одну звезду приходится объём порядка 357 кубических световых лет, а среднее расстояние между звёздами составляет 9,5 световых лет (что демонстрирует большую изолированность звёзд друг от друга). Все звёзды, в том числе Солнце, участвуют во вращении Галактики вокруг оси, перпендикулярной её экваториальной плоскости. Солнце совершает полный оборот вокруг оси Галактики приблизительно за 250 млн лет – это есть *галактический год*. Всего за время своего существования Солнце совершило около 20 таких оборотов.

Галактики распределены неравномерно, образуя скопления галактик. В чём разница между скоплениями звёзд и скоплениями галактик? Расстояния между звёздами огромны по сравнению с размерами звёзд (превышают их в миллионы раз), в то время как расстояния между галактиками лишь в разы превышают размеры галактик (т.е. звёзды в своей галактике распределены редко, а сами галактики в системе галактик – достаточно плотно). Если составить «карту Вселенной», где каждая галактика изображается точкой, то скопления галактик будут выглядеть как цепочки точек. Эти цепочки соединяются и пересекаются, образуя ячеистый узор, напоминающий пчелиные соты с размерами ячеек порядка 100 – 300 млн световых лет.

Совокупность всех известных (т.е. наблюдаемых средствами наблюдательной астрономии или радиоастрономии, а также обнаруженных теоретически) галактик образует *Метагалактику*; её диаметр оценивается величиной порядка 10^{28} см, что составляет более тринадцати миллиардов световых лет. Что находится за пределами Метагалактики, – нам неизвестно. Иногда Метагалактику отождествляют со всей Вселенной.

Вся Метагалактика пронизана чрезвычайно разреженным ионизированным газом – плазмой, состоящей на 70 – 80% из водорода и на 20 – 30% из гелия. Приблизительно таков же химический состав звезд и всего вещества в известной нам части Вселенной. В целом на все элементы тяжелее гелия приходятся лишь проценты или доли процента. В то же время, химический состав планет, спутников и макроскопических тел существенно иной: для них характерно обилие, наряду с водородом и гелием, элементов тяжелее гелия (азот, кислород, углерод, кремний, магний, сера, железо и др.). Еще больше доля этих элементов в составе живых организмов – растений и животных.

Сегодня астрономы оценивают число галактик в видимой Вселенной громадным числом порядка 140-150 млрд. Стоит заметить, что еще в начале 20-х годов прошлого века известной была лишь одна – наша Галактика, а остальной космос рассматривался либо как часть Млечного Пути, либо как скопления газа и туманностей. В 1924 г. американский астроном Эдвин Хаббл опубликовал свою статью «Цефеиды в спиральных туманностях», где показал, что Вселенная состоит из большого числа отдельных галактик (образно называемых иногда «островами Вселенной»). Концепция Метагалактики как системы галактик и скоплений галактик сложилась к середине XX в. благодаря, в первую очередь, успехам наблюдательной астрономии.

5.5. Структурно-масштабная иерархия

Космические тела, на поверхности которых может существовать и развиваться жизнь, – это планеты и их спутники. Энергия, необходимая для появления и поддержания жизни, – это энергия космических тел другого типа – звезд. Человек занимает определенное место в структурно-масштабной иерархии: он принадлежит к классу макроскопических тел и обитает на поверхности объекта, принадлежащего к классу космических тел. Таким образом, положение субъекта, изучающего Вселенную, на структурно-масштабной лестнице создает на ней определенную границу, которая в рамках естествознания соответствует границе между физикой и астрономией. Принципиальное отличие между этими областями знания в том, что первая основана на эксперименте, а вторая – на наблюдениях.

Различные структурные образования Вселенной отличаются друг от друга не только по своим физическим масштабам и строению, но также характером протекающих в них процессов и типом сил взаимодействия. Так, в мегамире главную роль играют гравитационные взаимодействия и магнитные поля; для объектов меньших масштабов (макроскопических тел, клеток, молекул) – электромагнитные взаимодействия; для атомных ядер и элементарных частиц – ядерные. Это обстоятельство, в частности, предопределяет различие временных масштабов в пределах структурно-масштабной лестницы: в макромире время измеряется в секундах, минутах, часах, годах; в микромире – от 10^{-24} с до

бесконечности; в мегамире – в миллионах и миллиардах лет. Таким образом, хотя за основу разделения мира на микро-, макро- и мегамир взят физический масштаб, эти миры резко контрастируют по своим основным характеристикам и действующим в них законам. И все же, несмотря на это, микро-, макро- и мегамир образуют целостное единство, которое и есть окружающий нас мир.

В следующей таблице представлены типичные структуры, составляющие структурно-масштабную иерархию.

Таблица 1

Структурно-масштабная иерархия

| № | Структура | Тип взаимодействия | Тип эволюции | Размер | |
|----|---|------------------------|---------------|---------|----------|
| 1 | Метагалактика (Вселенная) | Гравитационное | Космическая | 28 | МЕГАМИР |
| 2 | Скопления и группы галактик | Гравитационное | Космическая | 25÷24 | |
| 3 | Галактики | Гравитационное | Космическая | 23÷22 | |
| 4 | Звёзды | Гравитационное | Космическая | 13÷10 | |
| 5 | Космические тела (планеты, кометы, астероиды) | Гравитационное | Геологическая | 10÷6 | |
| 6 | Сообщества живых существ | Электромагнитное | Биологическая | 4÷2 | МАКРОМИР |
| 7 | Живые организмы | Электромагнитное | Биологическая | 3 ÷ -2 | |
| 8 | Микроскопические тела (клетки, гены) | Электромагнитное | Биологическая | -2 ÷ -8 | МИКРОМИР |
| 9 | Молекулы | Электромагнитное | Химическая | -2 ÷ -8 | |
| 10 | Атомы | Электромагнитное | Физическая | -8 | |
| 11 | Ядра атомов, элементарные частицы | Сильное, электрослабое | Физическая | -13 | |
| 12 | Кварки, лептоны, частицы – переносчики взаимодействий | Сильное, электрослабое | Физическая | -14 | |

Пояснения

1. В первой колонке таблицы указан тип структуры, во второй – тип фундаментального взаимодействия, обеспечивающего целостность соответствующей структуры, в третьей – тип эволюции структуры, в четвертой – десятичный логарифм типичного размера структуры (в см).
2. Структуры представлены в порядке уменьшения их масштаба; отношение размеров самого большого известного науке объекта – Вселенной (Метагалактики) к самому маленькому (кварки, лептоны) равно $10^{28} : 10^{-14}$ и составляет величину порядка 10^{42} .
3. В последние годы в физике рассматривается особая структура материального мира – *физический вакуум*. Это не пустота, а особая среда, в которой непрерывно рождаются и исчезают частицы, вакуум как бы «кипит». Концепция физического вакуума является важной концепцией современного естествознания.

В заключение темы отметим, что микро- и мега-масштабы не имеют абсолютного характера: они определяются уровнем развития науки, соответствуя наименьшему и наибольшему масштабам, доступным изучению в данный период. Другими словами, каждая конкретная научная эпоха имеет свои микро- и мега-миры. Со времен Ньютона диапазон экспериментально изучаемых явлений по пространственным масштабам возрос в обе стороны приблизительно на 10 порядков (т.е. в десять миллиардов раз).

Тема 6: Элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия

- 6.1. Эволюция концепции атомизма.*
- 6.2. Основные составляющие материи.*
- 6.3. Фундаментальные взаимодействия в природе.*
- 6.4. Объединение фундаментальных взаимодействий.*

6.1. Эволюция концепции атомизма

Со времён Демокрита основополагающая идея атомизма заключается в признании того, что *есть предел делимости вещества*: в достаточно малых масштабах должны быть неделимые единицы материи, из соединения которых и состоят все существующие в мире тела. Поскольку имеется методологический принцип, сводящий свойства сложной системы к свойствам её составных частей (принцип редукционизма), тем самым свойства «элементар-

ных составляющих материи» должны объяснять также многие свойства всех материальных тел.

Представления о существовании мельчайших частиц вещества являются важнейшими в современной физике. Американский физик-теоретик Р. Фейнман (1918–1988) говорит по этому поводу следующее. «Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего числа слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это атомная гипотеза: «все тела состоят из атомов, маленьких частиц, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому».

Вплоть до конца XIX в. мельчайшей неделимой частицей материи считался *атом*. Однако ряд открытий конца XIX – начала XX века разрушил эти представления. В 1896 г. Беккерель открыл явление радиоактивности. Было обнаружено, что ядра некоторых тяжелых атомов обладают способностью испускать α -частицы (ионизированные атомы гелия), β -частицы (электроны), а также γ -излучение (высокочастотное электромагнитное излучение). В 1897 г. Дж. Томсон экспериментально установил, что атом делим, и измерил электрический заряд и массу мельчайших отрицательно заряженных частиц, названных впоследствии электронами. В 1911 г. Резерфорд построил планетарную модель атома: в центре атома располагается ядро, вокруг которого по различным орбитам вращаются электроны. Однако планетарная модель Резерфорда вступает в противоречие с электродинамикой Максвелла: вращающийся вокруг ядра электрон должен излучать электромагнитные волны и, следовательно, терять энергию. Из-за потери энергии радиус его орбиты будет непрерывно уменьшаться и за время порядка 10^{-8} секунды электрон должен упасть на ядро. Но этого не происходит: атомы существуют, и притом, необыкновенно устойчивы. Объяснение этого парадокса дал датский физик Нильс Бор – оно кроется в квантовой природе атомов. Поиск первых элементарных составляющих материи привёл к открытию электрона (1897), протона (1919), фотона (1900), нейтрона (1932). В начале 30-х годов XX века физики считали, что основные составляющие материи найдены – ими служат указанные 4 типа элементарных частиц (частицы считаются элементарными, если у них не обнаружена внутренняя структура). Однако открытие новых элементарных частиц разрушило эти надежды.

В 1932 г. в составе космических лучей был открыт позитрон, имеющий такую же массу, как электрон и противоположное значение электрического заряда (античастица электрона). С начала 50-х годов XX века главным инструментом исследования элементарных частиц стали ускорители. С их помощью была открыта античастица протона – антипротон (1955), античастица

нейтрона – антинейтрон (1956). (Интересно отметить, что существование античастиц было предсказано теорией Дирака в 1928 г. Впоследствии античастицы были обнаружены для всех элементарных частиц.) В 1960-х годах на ускорителях было получено большое количество крайне неустойчивых частиц, названных *резонансами*; время их жизни порядка $10^{-22} - 10^{-24}$ с. В настоящее время число открытых элементарных частиц и античастиц приближается к четырёмстам. Все эти элементарные частицы называются *субатомными*. Однако термин «элементарный» носит условный характер, так как некоторые из этих частиц обладают структурой, т.е. могут быть представлены в виде ещё более мелких единиц.

Из всех элементарных частиц стабильными являются фотон, электронное и мюонное нейтрино, электрон, протон и их античастицы; остальные элементарные частицы самопроизвольно распадаются. Однако нельзя считать, что нестабильные элементарные частицы «состоят» из стабильных, – хотя бы потому, что одна и та же частица может распадаться на различные элементарные частицы несколькими способами. *Это обстоятельство не позволяет рассматривать элементарные частицы как простейшие, неизменные «кирпичики мироздания», подобные атомам Демокрита.*

6. 2. Основные составляющие материи

Один из способов классификации элементарных частиц – по их участию в *фундаментальных взаимодействиях*. Все частицы, обладающие сильным взаимодействием, называются *адроны* («сильные»). Кроме того, адроны (их существуют сотни типов) участвуют также в слабом и гравитационном взаимодействиях. Адроны бывают двух разновидностей – электрически заряженные и нейтральные. Наиболее известными адронами являются протоны и нейтроны, составляющие ядра атомов (их общее название – *нуклоны*). Остальные адроны – короткоживущие, распадаются либо менее чем за одну миллионную долю секунды за счёт слабого взаимодействия, либо за время порядка 10^{-23} с – за счёт сильного.

Частицы, участвующие в слабом взаимодействии и не участвующие в сильном, называются *лептонами* («лёгкие»). Наиболее известный из лептонов – электрон, по-видимому, не имеет внутренней структуры и поэтому может быть отнесён к «истинно элементарным частицам». Другой хорошо известный лептон, не имеющий заряда – *нейтрино*, частица, имеющая исключительно высокую проникающую способность. Несмотря на неосвязаемость, нейтрино занимает особое положение среди других элементарных частиц, так как является наиболее распространённой частицей Вселенной.

Решающий шаг в раскрытии строения адронов был сделан в 1963 г., когда Гелл-Манн и Цвейг предложили *теорию кварков*. Основная идея этой теории заключается в том, что адроны состоят из так называемых *кварков*, которые могут соединяться между собой одним из двух возможных способов: либо тройками, либо парами «кварк – антикварк». Из трёх кварков состоят барионы («тяжёлые частицы»), например, протоны и нейтроны. Более лёгкие адроны, состоящие из пар «кварк – антикварк», называются *мезоны* («промежуточные частицы»).

Наука о взаимодействии кварков называется *квантовой хромодинамикой*. Она описывает взаимодействия кварков посредством обмена глюонами – квантами поля ядерных сил.

Согласно современным представлениям, кварки не могут существовать в свободном виде. Дело в том, что для «обычных» частиц взаимодействие между ними при увеличении расстояния ослабевает, а для кварков оно растёт. Наглядно кварки можно представить как точечные объекты, соединённые струной. При приложении достаточного количества энергии струну можно разорвать, но при этом в месте разрыва возникает пара «кварк-антикварк». Ситуация здесь напоминает распиливание магнита: так же невозможно отделить кварки друг от друга, как невозможно отделить в магните северный и южный полюсы.

Изначально кварки рассматривались как гипотетические частицы, однако фундаментальные эксперименты конца XX в. дают основание считать кварки реальностью. Большинство физиков относит кварки к «подлинно элементарными частицами», т.е. считает их неделимыми и не имеющими внутренней структуры (хотя уже имеются гипотезы о существовании субкварков).

Итак, к «собственно элементарным частицам» можно отнести *кварки*, *лептоны*, а также частицы-переносчики взаимодействий: *фотоны* – кванты электромагнитного поля, *гравитоны* – кванты гравитационного поля, *глюоны* – кванты полей сильного взаимодействия, *мезоны* – кванты полей слабого взаимодействия. Если кварки и лептоны представляют собой основные «составляющие» материи, то частицы-переносчики обеспечивают взаимодействия между ними. Так, глюоны (от англ. *glue* – клей) «склеивают» кварки в атомные ядра. Фотоны переносят тепло и свет. Гравитоны (гипотетические частицы, осуществляющие гравитационное взаимодействие между любыми предметами) удерживают космические тела на их орбитах. Таким образом, все элементарные частицы играют свою, причём фундаментальную роль в процессах, происходящих во Вселенной.

- При обычном подходе к построению модели мира предполагается, что всё вещество состоит из частиц, а поля, реализующие силы природы, интерпретируются с помощью частиц-переносчиков взаимодействий. Но в последние десятилетия XX в. для этого фундаментального тезиса появилась альтернатива: возможно, мир со-

стоит не из частиц, а из гипотетических объектов – *струн*. Струны, в отличие от частиц, имеют протяженность (хотя и чрезвычайно малую, порядка 10^{-33} см, т.е. в 10^{20} раз меньше радиуса протона). В струнах возбуждаются колебания – аналогично колебаниям гитарной струны, – в силу чего они испускают в пространство волны из некоторого спектра частот, и этим волнам соответствуют определенные частицы. В результате струна порождает первичные частицы, из которых образуются более сложные частицы, в том числе кварки, адроны и др.

6.3. Фундаментальные взаимодействия в природе

Перейдём теперь от элементарных частиц к их взаимодействиям, т.е. от вещества к полю. Несмотря на разнообразие сил в природе, существует всего четыре основных взаимодействия, которыми обусловлены все происходящие в природе явления. Эти взаимодействия называются *фундаментальными*. К ним относят:

- *гравитационные взаимодействия;*
- *электромагнитные взаимодействия;*
- *слабые взаимодействия;*
- *сильные взаимодействия.*

Общим для всех взаимодействий является то, что они осуществляются не мгновенно, а с некоторой конечной скоростью, не превышающей скорости света в вакууме. Кроме того, взаимодействие любого вида имеет своего физического «агента», т.е. частицу-переносчика этого взаимодействия.

Гравитационные взаимодействия существуют между всеми телами. В макроскопическом мире гравитационные взаимодействия огромного количества частиц, составляющих массу тела, складываются и порождают макроскопическую силу гравитации, которая проявляется как основная сила во Вселенной. Благодаря гравитационным взаимодействиям происходит образование космических систем. Гравитационные силы способствуют процессу концентрации рассеянной во Вселенной материи и включению её в новые этапы эволюции.

В микромире гравитационные взаимодействия настолько слабы, что до сих пор их не удалось экспериментально обнаружить.

Природа гравитации до настоящего времени полностью не ясна. Квантовая теория гравитации объясняет действие тяготения как результат обмена между телами мельчайшими частицами, не обладающими массой – гравитонами (экспериментально они не обнаружены). Общая теория относительности трактует гравитацию как искривление пространства-времени.

Электромагнитные взаимодействия имеют место между любыми электрически заряженными частицами. Атомы, молекулы и макроскопические

тела обладают устойчивостью благодаря электромагнитным силам. Все химические реакции осуществляются за счет электромагнитных взаимодействий, приводящих к перераспределению атомов в молекулах и связей между ними, а также к перестройке электронных оболочек атомов. Протекая в больших масштабах, химические реакции – от простого горения и до сложнейших превращений в живых организмах – вызывают грандиозные изменения окружающего мира, преобразующие его облик.

Электромагнитные силы весьма многообразны. Это – силы упругости, позволяющие твердым телам сохранять свою форму; силы, препятствующие разрыву жидкостей и сжатию газов; силы трения, тормозящие движение твердых тел, жидкостей и газов; упругая сила пара в паровом котле; сила мышц человека и животных. Форма тел макромира также определяется электромагнитными взаимодействиями. Стремление к минимуму потенциальной энергии электромагнитного взаимодействия направляет ход многих процессов, как в неживой, так и в живой природе. Например, смачивание и поверхностное натяжение воды (необходимое для ее движения по сосудам растений), объясняются стремлением к минимуму потенциальной энергии электромагнитного взаимодействия молекул воды и молекул стенок сосудов. Электромагнитные взаимодействия совершаются через обмен фотонами, а так как фотоны не имеют массы, то дальность таких взаимодействий ничем не ограничена. Так, магнитное поле Земли простирается далеко за её пределы в космическое пространство. Солнце порождает магнитное поле, которое «заполняет» всю Солнечную систему. Галактики также имеют галактические магнитные поля.

Слабые взаимодействия существуют только в микромире и проявляются лишь при крайне малых расстояниях между частицами (не более 10^{-16} см) – этим они отличаются от гравитации и электромагнетизма, действующих на больших расстояниях. Поэтому слабые взаимодействия не могут влиять на макроскопические тела (устойчивость последних обеспечивают электромагнитные взаимодействия).

Слабые взаимодействия вызывают превращения одних частиц в другие, часто приводя продукты реакции в движение с высокими скоростями. Слабые взаимодействия наблюдаются при некоторых видах столкновений частиц и их распаде. Так, входящие в состав атома протоны и электроны представляют собой стабильные частицы: они существуют до тех пор, пока не столкнутся с другими частицами, в результате чего произойдет аннигиляция. В противоположность этому, распад нейтронов может произойти самопроизвольно в любой момент (этот процесс, носящий название β - *распад*, является одной из форм радиоактивности).

Зримое проявление слабого взаимодействия – так называемый «взрыв сверхновой», который получается в недрах «старой» звезды в результате коллапса её ядра. При этом испускается огромное количество нейтрино, которые обладают только слабым взаимодействием и имеют исключительно высокую проникающую способность.

В 1979 г. три физика-теоретика – Вайнберг, Глэшоу и Салам создали теорию, которая позволяет рассчитать процессы слабого взаимодействия (распады, рассеяния, аннигиляции), основываясь на идее «промежуточных бозонов», – частиц-переносчиков слабого взаимодействия. Исходя из опытов по рассеянию нейтрино, они смогли теоретически предсказать массу трех промежуточных бозонов. В 1983 г. на ускорителе, находящемся в Женеве, все три частицы были открыты, причем их массы совпали с предсказанными.

Сильные (ядерные) взаимодействия являются самыми мощными из известных современной физике. Именно сильные взаимодействия удерживают вместе протоны и нейтроны в составе атомного ядра, а порождаемые ими процессы протекают с очень большой интенсивностью, т.е. «сильно». На расстоянии порядка 10^{-13} см ядерные силы действуют как силы притяжения, преодолевающие кулоновские силы отталкивания, возникающие между одноимённо заряженными протонами. Однако на меньших расстояниях порядка 10^{-14} см ядерные силы превращаются в силы отталкивания. Тем самым обеспечивается определённая жёсткость атомного ядра.

Сильные взаимодействия определяют ход ядерных реакций, в частности, реакции ядерного синтеза. Тем самым, энергия Солнца и звезд высвобождается благодаря реакциям, вызываемым сильными взаимодействиями (а также при существенном участии слабых взаимодействий).

Сильное и слабое взаимодействия являются *короткодействующими* (их действия проявляются только в пределах атомного ядра), в то время как гравитационное и электромагнитное являются *дальнодействующими*, так как они распространяются на всю Вселенную. Все физические процессы протекают в границах этих двух крайностей и подтверждают единство микро-, макро- и мегамира.

Существуют ли другие типы фундаментальных взаимодействий в природе? Это науке неизвестно. Во всяком случае, за последние триста лет их число постепенно возрастало: в XVII веке было открыто гравитационное взаимодействие, в XIX веке – электромагнитное, в середине XX века – слабое и сильное.

6.4. Объединение фундаментальных взаимодействий

Следует отметить, что для большинства объектов Вселенной проявляются все типы фундаментальных взаимодействий. Например, звезда представляет собой огромное количество частиц, удерживаемых силами гравитации; между этими частицами действуют также силы притяжения и отталкивания; частицы, составляющие ядра атомов (нуклоны) связаны сильным взаимодействием, а термоядерные реакции, протекающие в недрах звезды, происходят при участии слабого взаимодействия. И всё же для структуры каждого типа существует определяющее взаимодействие, которое обеспечивает устойчивость данной структуры: для объектов мегамира – это гравитационное взаи-

модействие; для объектов макромира – электромагнитное; для частиц, входящих в состав атомных ядер, – это сильное и электрослабое (именно эти типы взаимодействий указаны в табл. 1).

Фундаментальные взаимодействия, рассматривавшиеся вначале как не связанные друг с другом, имеют тенденцию к объединению. Эта тенденция проявилась ещё в середине XIX века, когда Максвелл объединил электричество и магнетизм в одно электромагнитное взаимодействие.

Представление о различной природе четырёх фундаментальных взаимодействий сложилось потому, что обычно мы имеем дело с миром относительно низких энергий; с увеличением энергии взаимодействия имеют тенденцию к объединению. Прежде всего, объединяются электромагнитное и слабое взаимодействие, образуя так называемое *электрослабое* взаимодействие (авторы теории электрослабого взаимодействия – Стивен Вайнберг и Абдус Салам, Нобелевская премия 1979 г.). Суть этой теории состоит в описании слабого взаимодействия на языке так называемого *калибровочного поля*. Объединение слабого и электромагнитного взаимодействия в рамках теории калибровочных полей подсказало возможность дальнейшего объединения. В частности, предпринимаются шаги к объединению электрослабого и сильного взаимодействий (*теория великого объединения – ТВО*).

В последние годы в физике разрабатывается идея, согласно которой в основе всех известных типов физических взаимодействий лежит одно универсальное взаимодействие (*суперсила*), а электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное взаимодействия являются различными проявлениями этого единого взаимодействия, расщепляющегося по мере понижения уровня энергии соответствующих физических процессов.

Возможность объединения взаимодействий разных видов связана с температурой вещества, которая определяется энергией взаимодействующих частиц. Чем выше эта энергия, тем больше степень объединения разных видов взаимодействий, которые в обычных условиях воспринимаются как различные. Например, согласно современным данным, «великое объединение» наступает при температуре 10^{28} К, а температура, при которой происходит объединение всех взаимодействий в одно, оценивается в 10^{32} К.

Тема 7: Квантовая механика – аппарат исследования микромира

7.1. Квантовая гипотеза Планка. Постулаты Бора.

- 7.2. Корпускулярно-волновой дуализм. Уравнение Шредингера.
Принцип запрета Паули. Соотношение неопределенностей
Гейзенберга. Принцип дополнительности Бора.
- 7.3. Квантовая механика и неклассическое естествознание.

7.1. Квантовая гипотеза Планка. Постулаты Бора

Создание квантовой теории явилось революционным событием в физике XX века, перевернувшим сложившиеся к тому времени представления о веществе и энергии. Основатель этой теории – выдающийся немецкий физик Макс Планк (1858–1947).

Планк был уже зрелым учёным, когда его привлекла проблема излучения электромагнитных волн нагретыми телами. Работы Планка по теории излучения появились в 1900 г. и были вызваны тем, что в теории электромагнетизма наблюдались некоторые несоответствия с опытными данными. В частности, согласно существующим тогда представлениям, нагретое тело должно излучать в равной мере электромагнитные волны *всех* частот. Отсюда следует явно абсурдный вывод, что любой источник электромагнитного излучения, например, человеческое тело, должен ярко светиться в темноте. Планк заметил, что эти трудности исчезают, если предположить, что атомы испускают электромагнитную энергию не непрерывно, а отдельными порциями, которые впоследствии были названы *квантами*. Это предположение находилось в противоречии с одним из основных принципов классической физики, согласно которому все физические величины должны изменяться непрерывным образом. Все физики верили в справедливость этого принципа, восходящего к тезису Аристотеля: «Природа не делает скачков». Догадка Планка вначале была лишь гипотезой (в правильность которой не мог полностью поверить даже ее автор). Но в 1905 г. на основе этой гипотезы Эйнштейну удалось объяснить явление фотоэффекта (взаимодействие света и атомов, образующих поверхность металла). Эйнштейн предположил, что свет не только излучается, но и поглощается квантами (квант электромагнитного поля впоследствии получил название *фотон*). В результате этих идей физики пришли к новому пониманию природы света: он стал трактоваться как поток фотонов – отдельных порций световой энергии. Из квантовых представлений о свете следует наличие у фотона не только фиксированной энергии, но и импульса, а, значит, способности оказывать давление. Экспериментально этот факт был доказан в опытах русского физика П.Н. Лебедева. С развитием представлений о фотонах в физике утвердилась идея дискретности взаимодействий в микромире и квантования физических характеристик микрообъектов.

Основную роль в квантовой теории играет положение о том, что энергия квантов зависит от частоты излучения и находится по формуле Планка

$$E = h\nu,$$

где ν - частота излучения, h – постоянная, названная впоследствии *постоянной Планка*. Таким образом, чем выше частота, тем больше энергия кванта. (Излучение кажется нам непрерывным, а не дискретным потому, что число образующих его квантов очень велико; например, 100-ваттная лампочка испускает за 1с около 10^{20} квантов света – фотонов.)

Квантовая теория позволила ответить на ряд вопросов, относящихся к строению атома и необъяснимых в рамках классической механики и электродинамики. Например, почему электроны, обращающиеся вокруг ядра, не испускают электромагнитных волн (как это должно следовать из электродинамики Максвелла) и не падают на ядро? Датский физик Нильс Бор, приняв за основу планетарную модель атома, сформулировал некоторые дополнительные правила, характеризующие те особенности движения электронов, которые не укладываются в рамки классической физики.

Постулаты Бора состоят в следующем.

1. Атом может находиться только в дискретных устойчивых состояниях, характеризующихся определенными дискретными значениями энергии. В устойчивых состояниях атома электроны движутся вокруг ядра по определенным («дозволенным») орбитам, причем радиусы этих орбит соответствуют возможным значениям энергии атома.

2. При движении по «дозволенным» орбитам электроны – вопреки классической электродинамике – не излучают электромагнитных волн. Излучение может происходить только при перескоке электрона с одной «дозволенной» орбиты на другую.

3. Испускание и поглощение энергии атомом происходит «скачками», каждый «скачок» представляет собой порцию (квант энергии), кратную $h\nu$.

4. При поглощении энергии атомом электрон переходит с внутренней орбиты на внешнюю, более далекую от ядра. При обратном переходе атом излучает порцию энергии. Энергия излучения равна разности энергий электрона в начальном и конечном состоянии движения: $w = w_1 - w_2$ и находится по формуле $w = h\nu$, где ν – частота излучения. Перескок электрона на другую орбиту представляет собой так называемый *квантовый скачок*: электрон переходит с одной орбиты на другую, не появляясь между ними.

Из постулатов Бора следует, что частота излученного света вовсе не равна частоте вращения электрона по орбите (как того требует классическая электродинамика). Излучение происходит только при перескоке электрона на более близкую к ядру «дозволенную» орбиту, причем частота излучения, как следует

из вышеприведенной формулы, пропорциональна разности энергий электрона на этих орбитах. Этим объясняется, – почему каждый атом обладает способностью испускать и поглощать электромагнитные волны только определенных частот (энергия атома может меняться только на определенные дискретные величины). Именно поэтому спектры атомов являются линейчатыми: каждой линии спектра соответствует перескок электрона с одной стационарной орбиты на другую.

Дискретность возможных значений энергии атомов не согласуется ни с классической механикой Ньютона, ни с классической электродинамикой Максвелла. Ввиду дискретности значений энергии, атом представляет собой систему, обладающую сверхустойчивостью, которая не присуща макроскопическим телам.

С появлением квантовой механики сам механизм взаимодействия тел предстал в ином свете. Раньше считалось, что один заряд создает поле, которое действует на другой заряд. Но как это происходит? Квантовая картина рисует это взаимодействие следующим образом. Один заряд испускает кванты, которые поглощаются другим зарядом. Если во времена Фарадея и Максвелла это взаимодействие уподоблялось натяжению нити, то теперь оно представляется как «обмен порциями вещества и энергии». При этом процесс «испускания» кванта нельзя уподобить «переносу шарика» от одного заряда к другому: например фотон не «прячется» в атоме, а «рождается» в самом акте излучения. Каждый акт «испускания – поглощения» квантов переводит взаимодействующие в нем частицы в новое энергетическое состояние.

7.2. **Корпускулярно-волновой дуализм. Уравнение Шредингера. Принцип запрета Паули. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Принцип дополнительности Бора**

Из того факта, что свет излучается порциями, был сделан вывод, что свет поглощается также порциями. Излученная «порция света» сохраняет свою «индивидуальность» (энергию и импульс), тем самым, обнаруживая свое сходство с частицей; в дальнейшем она получила название *фотон*. Обнаружение фотонов – квантов электромагнитного поля – привело к установлению двойственной природы света: свет является одновременно и волной, и частицей. Отправляясь от корпускулярных свойств фотонов, французский физик Луи де Бройль в 1924 г. высказал «обратную идею» – что все элементарные частицы имеют также волновые свойства. Эта концепция вошла в науку под названием «корпускулярно-волновой дуализм». Согласно концепции де Бройля, каждая частица имеет корпускулярные параметры (энергию и импульс) и волновые параметры (частоту и длину волны). Академик В.А. Фок трактует корпускулярно-волновой дуализм следующим образом: «Можно сказать, что для

атомного объекта существует потенциальная возможность проявлять себя, в зависимости от внешних условий, либо как волна, либо как частица, либо промежуточным образом. Именно в этой потенциальной возможности различных проявлений свойств, присущих микрообъекту, и состоит дуализм волна-частица».

Развивая идеи де Бройля, Э. Шредингер вывел в 1926 г. дифференциальное уравнение для так называемой ψ -функции, задающей амплитуду этих волн в небольшой области пространства вблизи атомного ядра. Если Бор постулировал дискретные значения энергии частиц, то в квантовой механике это является следствием уравнения Шредингера. Квантовая механика отказывается от классического понятия орбиты электрона и исходит из понятия «электронного облака», размер, форма и ориентация которого описываются так называемыми квантовыми числами.

Размышляя над периодической системой Менделеева, Нильс Бор предположил, что замкнутые конфигурации атомов более устойчивы, поэтому электронные оболочки заполняются последовательно: после заполнения одной оболочки заполняется следующая. Это предположение привело австрийского физика Вольфганга Паули к следующему выводу: в одном и том же атоме в одном квантовом состоянии может находиться только один электрон. Другими словами, не может быть двух электронов с одинаковым набором квантовых чисел (*принцип запрета Паули*).

Квантовая механика дала объяснение химических свойств элементов: они определяются строением внешней электронной оболочки атомов и характером их заполнения валентными электронами. Каждый последующий элемент в периодической таблице Менделеева образован из предыдущего добавлением к ядру одного протона и добавлением к электронной оболочке одного электрона. Поэтому с увеличением заряда атомов происходит изменение строения внешней электронной оболочки, влекущее изменение физических и химических свойств элементов. В силу принципа запрета Паули возникает периодически повторяющийся однотипный характер в строении внешней электронной оболочки ряда элементов, что обуславливает схожесть химических свойств определенных групп элементов (а именно, элементов, находящихся в одной группе периодической системы). Тем самым квантовая механика подвела научный фундамент под периодический закон Менделеева: периодичность свойств элементов объясняется периодическим повторением конфигурации внешних электронных оболочек атомов.

Шредингер считал, что, что волновая функция описывает некое физическое поле, причем находимые из его уравнения волны дают распределение заряда частицы. Однако эти предположения не согласовывались с результатами экспериментов: оказалось, что при своем движении электрон как бы «размазан» вокруг ядра по всему объему, создавая электронное облако, плотность которого характеризуется волновой функцией. Неожиданную для физиков интерпретацию этих волн предложил Макс Борн: связанная, например, с электро-

ном, волна есть волна вероятности. Амплитуда волны (точнее, ее квадрат) определяет не плотность распределения электронов в данной точке пространства, а плотность вероятности локализации, т.е. того, что электрон здесь окажется. В настоящее время вероятностная интерпретация ψ -волн является общепринятой. Уравнение Шредингера играет в квантовой механике такую же роль, какую играют уравнения Ньютона в классической механике и уравнения Максвелла в электродинамике.

Знаменитое *соотношение неопределенностей Гейзенберга* устанавливает соотношение между неопределенностью положения частицы и ее импульса:

$$(\Delta x)(\Delta p) \geq h.$$

Здесь Δx – неопределенность координаты частицы, измеряемая длиной волнового пакета, Δp – неопределенность ее импульса, h – постоянная Планка. Таким образом, чем точнее определяется положение частицы, тем неопределеннее становится ее импульс. Следует иметь в виду, что соотношение неопределенности Гейзенберга не связано с какими-то погрешностями измерительных приборов: создать прибор, который с любой степенью точности измеряет и координату частицы, и ее импульс, невозможно в принципе. Аналогичные соотношения неопределенностей существуют и между другими величинами микромира, например, между временем, в течение которого происходит событие внутри атома, и количеством энергии, принимающим в нем участие. Дело в том, что события, происходящие за короткий промежуток времени, характеризуются значительной неопределенностью энергии, а события, для которых точно известно количество участвующей в них энергии, могут быть локализованы только на продолжительных временных интервалах.

Причиной соотношений неопределенностей в микромире является взаимодействие объекта измерения с измерительным прибором. Строго говоря, аналогичное взаимодействие имеет место и в макромире, но там оно настолько мало, что им можно пренебречь. В мире квантовых явлений картина иная: измеряя, например, с помощью некоторого прибора положение частицы, мы непредсказуемым образом изменяем ее скорость (а, значит, и импульс); измеряя с помощью другого прибора скорость частицы, мы меняем ее положение в пространстве.

Для описания микрообъектов, которые оказываются наделенными противоречивыми свойствами (что является следствием корпускулярно-волнового дуализма), Нильс Бор предложил ввести *принцип дополнительности*. Этот принцип рассматривает картину частицы и картину волны как взаимно дополняющие описания одного и того же явления: каждое из них истинно лишь частично и имеет ограниченное применение. Только совместное использование этих описаний может дать относительно полную (в пределах ограничений, накладываемых принципами неопределенностей) картину микромира.

Квантовая механика представляет собой основной аппарат исследования микромира: с ее помощью дается описание структуры атомов и происходящих

в них взаимодействий, устанавливается природа химической связи, объясняется периодическая система элементов. А так как свойства макроскопических тел определяются движением и взаимодействием образующих их частиц, то законы квантовой механики лежат в основе понимания многих макроскопических явлений. В частности, квантовая механика позволила объяснить такие явления, как сверхпроводимость, ферромагнетизм, сверхтекучесть. Важнейшие направления физики, на которых основаны современные технологии (ядерная физика, физика лазеров, физика полупроводников, микро- и наноэлектроника), базируются на квантовой механике.

Ключевую роль в квантовой механике играет постоянная Планка h – один из основных масштабов природы, разграничивающий области явлений, которые можно описывать классической физикой, от областей, для правильного объяснения которых необходима квантовая теория. Величина h является фундаментальной константой и может быть охарактеризована как «минимальная порция энергии» или «квант действия»: не может быть «действия», меньшего, чем постоянная Планка h .

7.3. Квантовая механика и неклассическое естествознание

Развитие квантовой механики оказало революционизирующее влияние не только на физику, но и на все естествознание. Главное методологическое открытие квантовой механики – вероятностный характер законов микромира. Для событий, происходящих в микромире (таких, как переход электронов с одних орбит на другие, столкновения, распады частиц и другие взаимодействия) можно указать лишь их вероятности. Например, с помощью квантовой механики можно для достаточно большого числа ядер рассчитать, – какой процент этих ядер распадется за фиксированный промежуток времени. Но нельзя в принципе дать ответ на вопрос, – когда именно распадется данное конкретное ядро и распадется ли оно вообще за указанный временной промежуток. Невозможность ответа на подобные вопросы не может быть устранена никаким более детальным исследованием этого ядра и его окружения. Точно так же, как бы точно ни определять состояние частицы до ее падения на экран со щелью, нельзя предсказать, – в какой именно точке фотопластинки, помещенной за щелью, она окажется. Эта ситуация не укладывается в рамки «классической парадигмы», согласно которой можно предсказать (или хотя бы объяснить) любое явление, если достаточно детально известны необходимые причинно-следственные связи в системе. Квантовая механика утверждает, что вопрос о причине происходящих в микромире событий не имеет смысла. Эти события происходят спонтанно, без какой-либо причины. Поэтому предсказать такие события невозможно, можно лишь указать их вероятности.

После создания квантовой механики для ученых-естественников стало очевидным всеобъемлющее значение вероятностного детерминизма. Если раньше физики считали, что поведение индивидуальных материальных объек-

тов подчиняется всегда однозначным детерминированным закономерностям (закономерностям динамического типа), а статистические закономерности проявляются лишь для больших совокупностей объектов, то после появления квантовой механики стало ясно, что поведение даже одной индивидуальной частицы не может быть описано иначе, как в терминах вероятностей.

В динамических теориях значения физических величин в начальный момент времени (т.е. начальное состояние системы) однозначным образом определяет их значения в любой последующие момент времени. В отличие от этого, в статистических теориях на основании известного начального состояния системы однозначно определяются только вероятности попадания значений физических величин в заданные интервалы, а также некоторые средние значения. Поэтому в статистических теориях основной задачей исследователя становится не нахождение значений физических величин, а лишь нахождение их усредненных характеристик. При этом, как и динамические, статистические теории отражают объективно существующие в природе связи и отношения, и потому имеют право на существование. Более того, ряд ученых (к ним относятся крупнейшие физики Нильс Бор и Вернер Гейзенберг) считают статистические законы наиболее глубокой и наиболее общей формой описания физических закономерностей. Развитие квантовых представлений привело также к отказу от важнейших методологических принципов классического естествознания: принципа детерминизма, принципа редукционизма, принципа разделения субъекта и объекта.

Переход от детерминированного описания явлений природы к вероятностному и связанные с этим изменения в методологии познания характеризуют *неклассический этап* естествознания. Неоднозначность поведения реальных объектов в сходных условиях противоречит постулату детерминированности классической физики. Физики классического периода, мышление которых формировалось грандиозными успехами небесной механики в XVII-XVIII вв., глубоко верили в этот постулат (среди них – величайший физик XX в. Альберт Эйнштейн). Однако изучение микромира заставляет отказаться от, казалось бы, очевидного. Выдающаяся роль в осмыслении квантовых явлений микромира и в формировании мышления нового типа принадлежит Нильсу Бору. Самое главное, что отличает неклассическую парадигму от классической, – это принципиально иное понимание случайного в Природе. Если в классической физике причинность понималась как наличие однозначной связи между явлениями, то в рамках неклассической физики причинность и закономерность проявляются в вероятностной форме, в виде статистических законов, которые соответствуют более глубокому уровню познания природных явлений и процессов.

Кроме того, картина мира в неклассическом подходе включает в себя наблюдателя, от которого зависят наблюдаемые эффекты. Микрообъект может проявлять себя либо как волна, либо как частица, в зависимости от эксперимента, производимого наблюдателем. Далее, если классическая физика исходи-

ла из постулата измеримости физических характеристик объектов с любой степенью точности, то квантовая механика показала наличие неопределенностей в измерениях, то есть принципиальных ограничений, которые природа накладывает на некоторые величины (например, одновременное измерение координат и импульса частицы). Принципы неопределенности ставят крест на идее Лапласа о создании научной теории, которая давала бы полностью детерминированную модель Вселенной: как мы можем предсказать будущее, когда мы не можем точно указать настоящее? *С методологической точки зрения принципиальная неопределенность некоторых величин является следствием применения классических понятий к описанию неклассических объектов, при этом квантовая природа микрообъектов дополнительна их классическому описанию.*

Следует подчеркнуть, что классическая методология не утратила своего значения в современной науке: существует множество природных явлений, для изучения которых классические подходы остаются приемлемыми. Однако большинство явлений, связанных с человеком и обществом, требуют неклассических подходов.

В заключение темы отметим, что в методологии современного естествознания наблюдается формирование уже следующего этапа, носящего название *постнеклассического*. Его становление связано с тем, что изучение сложных систем (как природных, так и общественных) требует учета огромного количества существующих в них взаимосвязей, а также их предыстории. Понять природу такого объекта можно лишь в его эволюционном развитии.

Тема 8: Теория относительности Эйнштейна

- 8.1. Постулаты специальной теории относительности и их следствия.*
- 8.2. Картина мира в рамках СТО.*
- 8.3. Геометрические и физические предпосылки
общей теории относительности.*
- 8.4. Гравитация как проявление искривления пространства-времени.*
- 8.5. Значение ОТО для современной физической картины мира.*

8.1. Постулаты специальной теории относительности и их следствия

В начале XX века радикальные изменения претерпели взгляды на основополагающие физические субстанции – пространство и время. Этот кардинальный поворот в миропонимании был воплощен в так называемой *теории относительности*, являющейся созданием самого выдающегося физика XX века Альберта Эйнштейна. Созданная Эйнштейном в начале XX в., теория относительности опрокинула все привычные представления о пространстве и времени и привела к созданию *релятивистской картины мира*.

Теория относительности подразделяется на *специальную теорию относительности (СТО)* и *общую теорию относительности (ОТО)*. В основе СТО лежат два постулата, являющиеся обобщением экспериментально установленных закономерностей.

Первый постулат (принцип относительности Эйнштейна или релятивистский принцип): *в любых инерциальных системах отсчёта все физические явления протекают одинаково.*

В формулировке принципа относительности используется понятие инерциальной системы координат. Более общее понятие – система отсчета. Под *системой отсчёта* (в физическом смысле) понимается некоторая замкнутая система тел. Выделяется класс *инерциальных систем отсчёта* – класс систем отсчёта, которые движутся друг относительно друга прямолинейно и равномерно. Математическим «воплощением» системы отсчёта является система координат, снабжённая масштабной линейкой и часами. Инвариантность некоторой характеристики (величины, свойства) означает её одинаковость (независимость) во всех инерциальных системах отсчёта. С физической точки зрения все величины, имеющие физический смысл, должны быть инвариантными. Для того чтобы некоторый физический процесс проходил одинаково во всех инерциальных системах отсчёта, необходимо, чтобы математические уравнения, описывающие этот процесс, преобразовывались ковариантно (соответственно) преобразованию систем отсчёта.

Принцип относительности Эйнштейна является обобщением принципа относительности Галилея, который утверждает одинаковость *механических явлений* во всех инерциальных системах отсчёта. Более трехсот лет принцип относительности Галилея относили только к механике. Перенос принципа относительности на электродинамику, возникшую в первой половине XIX в., представлялся невозможным, так как полагали, что все пространство заполнено особой средой — эфиром, натяжения в котором и истолковывались как напряженности электрического и магнитного полей. При этом считалось, что эфир не влияет на механические движения тел, так что в механике он «не чувствовался», но на электромагнитных процессах движение относительно эфира («эфирный ветер») должно было сказываться.

Согласно принципу относительности Эйнштейна, с помощью каких бы то ни было физических экспериментов, проведённых в замкнутой системе тел,

невозможно определить – покоится она или движется равномерно и прямолинейно. В частности, не существует выделенной системы отсчёта, связанной с неподвижным эфиром (подтверждением чему служит опыт Майкельсона). Исходя из невозможности определить абсолютное движение, Эйнштейн сделал вывод о равноправии всех инерциальных систем отсчёта. А так как физические законы во всех инерциальных системах отсчёта одинаковы, то выражающие их математические уравнения должны также быть одинаковыми.

Второй постулат (принцип инвариантности скорости света): *скорость света в вакууме постоянна и не зависит от движения источника или приёмника света.*

Скорость света одинакова во всех направлениях и во всех инерциальных системах отсчёта. Она является одной из важнейших физических констант; опыты показывают, что скорость света в вакууме c приблизительно равна 300 000 км/с. Скорость света является, вместе с тем, предельной скоростью в природе: скорость любых частиц, сигналов и взаимодействий не может превосходить скорости света в вакууме.

Рассмотрим некоторые следствия постулатов СТО.

Первое следствие касается скорости течения времени. В механике Ньютона время считается абсолютным, оно течёт «само по себе» и одинаково во всех системах отсчёта. Представление об абсолютном времени просуществовало в научном и обыденном сознании до начала XX в. Считалось само собой разумеющимся, что каждое событие можно единственным образом «пометить» некоторым числом, – которое называется временем, – так, что все точно идущие часы будут показывать один и тот же интервал времени между любыми двумя событиями. Но, приняв постулат постоянства скорости света, необходимо в качестве его следствия принять положение о том, что скорость течения времени в разных инерциальных системах отсчёта различна. А именно, *в движущейся системе отсчёта происходит замедление скорости течения времени.*

Второе следствие касается понятия одновременности событий. В классической физике одновременность событий носит абсолютный характер и не зависит от выбора системы отсчёта. В СТО события, происходящие в разных точках пространства, могут быть одновременными в одной инерциальной системе отсчёта и не быть одновременными в другой.

Третье следствие утверждает отсутствие абсолютных длин (расстояний). Например, для двух наблюдателей, один из которых находится на Земле, а другой на Луне, чтобы измерить расстояние, скажем, от Марса до Солнца, необходимо произвести его в один и тот же момент времени. Но такая синхронизация часов, находящихся в разных системах отсчёта, движущихся друг относительно друга, по второму следствию невозможна.

Математическим аппаратом СТО служат так называемые *преобразования Лоренца*. Используя преобразования Лоренца, можно чисто математически показать, что *продольные размеры движущегося тела в направлении движения уменьшаются* (так называемое *лоренцево сокращение длин*), в то время как поперечные размеры не изменяются. Максимальные продольные размеры тела будут в той системе отсчёта, относительно которой оно неподвижно. Следует иметь в виду, что лоренцево сокращение длин является релятивистским кинематическим эффектом и не связано с действием каких-либо сил, «сжимающих» тело в продольном направлении (как это считал, например, крупнейший математик прошлого века Анри Пуанкаре), а является релятивистским эффектом самого движения.

Четвертое следствие связано с изменением массы движущегося тела. Так как во всех инерциальных системах отсчёта физические процессы, согласно первому постулату СТО, протекают одинаково, то и математическая запись физических законов во всех инерциальных системах координат должна быть одинаковой. Другими словами, уравнение, описывающее какое-либо явление во второй системе отсчёта, должно получаться из уравнения, описывающего это явление в первой системе отсчёта, путём простой замены нештрихованных величин (измеренных в первой системе отсчёта) на штрихованные (измеренные во второй системе отсчёта). Это условие и есть *условие ковариантности* относительно преобразований Лоренца.

Рассмотрим теперь основной закон классической динамики Ньютона для материальной точки:

$$m \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F} \quad (\text{или} \quad \frac{d(m\bar{v})}{dt} = \bar{F}).$$

Если считать массу m постоянной во всех инерциальных системах отсчёта, то данное уравнение меняет свой вид (т.е. не является ковариантным) относительно преобразований Лоренца. Но при замене m на так называемую *релятивистскую массу* по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

(где m_0 – масса тела, которое покоится относительно наблюдателя – масса покоя, v – скорость движения тела относительно наблюдателя, c – скорость света), это уравнение становится ковариантным относительно преобразований Лоренца. Какой физический смысл имеет изменение массы тела при его движении? Можно показать, что приращение релятивистской массы тела Δm определяется сообщённой ему кинетической энергией ΔE и находится по формуле

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2},$$

откуда получается

$$E = mc^2.$$

Это – один из самых знаменитых законов современной физики. Его словесная формулировка такова: *Полная энергия тела равна произведению его релятивистской массы на квадрат скорости света.*

Таким образом, помимо известной из классической физики кинетической энергии, СТО указывает на существование энергии, связанной не с движением тела, а с его массой, - энергии, аккумулированной самой этой массой. При этом энергия, связанная только с массой, несравненно больше кинетической энергии. Например, при скорости движения тела $V = 30$ м/с его кинетическая энергия составляет всего $\frac{1}{2} * 10^{-14}$ от полной энергии тела.

Наличие у покоящейся частицы массы говорит и о наличии у нее энергии (энергии покоя). Это обстоятельство не играет роли в классической механике, но приобретает принципиальное значение при рассмотрении процессов, в которых число и сорт частиц может изменяться, в силу чего энергия покоя может переходить в другие формы. В атомных ядрах энергия притяжения частиц приводит к тому, что общая масса ядра оказывается меньше суммы масс отдельных частиц (*дефект массы*). Установление этого факта явилось одним из важнейших шагов к возникновению ядерной энергетики, так как позволило оценить ту значительную энергию, которая должна высвободиться при делении тяжелых и слиянии легких ядер.

Закон взаимосвязи массы и энергии был подтверждён многочисленными экспериментами в ядерной физике. В частности, эффект возрастания релятивистской массы при приближении скорости частицы к скорости света c наблюдается в ускорителях частиц – синхрофазотронах.

8.2. Картина мира в рамках СТО

Сформулируем основные выводы из специальной теории относительности.

1. Важнейшие физические характеристики: одновременность событий, длительность временного промежутка между двумя событиями, длина, масса – перестают носить абсолютный характер, становясь зависимыми от скорости движения той инерциальной системы отсчёта, в которой находится наблюдатель (это и даёт название теории – *теория относительности*).

2. В рамках представлений классической физики, пространство и время абсолютны, независимы и никак не связаны между собой. Эти положения были сформулированы ещё Ньютоном. Однако «ощутить» абсолютное пространство, – равно как и абсолютное время, – человеку не дано, так как неподвижных объектов во Вселенной нет. (Ньютон полагал, что имеется лишь один наблюдатель, которому дано ощутить, узнать абсолютное пространство – Бог.) Принципиальный факт, лежащий в основе теории относительности, состоит в том, что в отличие от представлений классической физики, пространство и время не изолированы, а неразрывно связаны друг с другом. В терминологии СТО пространство и время образуют единый *пространственно-временной континуум* размерности 3+1. Нет отдельно пространства и отдельно времени – есть только единое 4-мерное пространство-время.

3. Основные эффекты СТО: сокращение продольных размеров движущегося тела, замедление темпа течения времени в движущейся системе отсчёта, изменение массы – обнаруживаются лишь при скоростях, соизмеримых со скоростью света c . При небольших (земных) скоростях, когда отношение v/c мало, эффекты теории относительности практически незаметны. Поэтому физику Ньютона можно рассматривать как предельный случай физики СТО, соответствующий небольшим скоростям наблюдателя. Здесь проявляется так называемый *принцип соответствия между теориями*: новая теория должна совпадать со старой в тех областях, где последняя получила надёжное подтверждение на практике.

Специальная теория относительности была подготовлена всем предыдущим ходом развития физики (электродинамика Максвелла, преобразования Лоренца, опыт Майкельсона, математические работы Пуанкаре). Однако потребовался гений Эйнштейна, чтобы соединить все эти данные в единую картину. После работы Пуанкаре 1898 г. и работы Лоренца 1904 г. оставалось сделать один шаг до создания теории относительности, но этот шаг требовал другого типа мышления и другой философии. В статье «Анри Пуанкаре и физические теории» выдающийся французский физик Луи де Бройль говорит по этому поводу следующее: «... молодой Альберт Эйнштейн, которому в то время исполнилось лишь 25 лет и математические знания которого не могли идти в сравнение с глубокими познаниями гениального французского ученого, тем не менее, раньше Пуанкаре нашел синтез, сразу снявший все трудности, использовав и обосновав все попытки своих предшественников. Этот решающий удар был нанесен мощным интеллектом, руководимым глубокой интуицией и пониманием природы физической реальности».

Приняв всего два постулата – постулат относительности и постулат постоянства скорости света в качестве основных законов природы, Эйнштейн пришел к совершенно новым представлениям о пространстве и времени. Специ-

альная теория относительности явилась крупнейшим открытием XX в., которое в корне изменило классическую картину мира. Но это было только начало. За ней последовала ещё более сложная – общая теория относительности, также созданная Эйнштейном.

8.3. Геометрические и физические предпосылки общей теории относительности

Основной геометрической предпосылкой общей теории относительности явилось создание неевклидовых геометрий. До начала 20-х гг. XIX в. считалось, что логически возможна только одна геометрия – евклидова – и что именно она является геометрией физического пространства. Создание неевклидовых геометрий (первая такая геометрия была создана нашим соотечественником Н.И. Лобачевским в 1826 г. и носит его имя) привело к мысли, что реальное (физическое) пространство может быть неевклидовым. Эта геометрическая идея и стала ключевой в общей теории относительности Эйнштейна.

Перейдём теперь к рассмотрению физических предпосылок ОТО. Важнейшим физическим принципом, положенным Эйнштейном в основу ОТО, является *равенство инертной и гравитационной массы*.

Инертная масса тела M определяется из второго закона Ньютона: $F = MW$, где F – действующая сила и W – ускорение. Таким образом, прикладывая к телу известную силу и измеряя возникающее при этом ускорение, можно найти его инертную массу.

Гравитационная масса m определяется из силы гравитационного взаимодействия между телами.

Ещё Галилей пришёл к выводу о пропорциональности гравитационной и инертной массы, наблюдая одинаковое ускорение при падении тел разной массы. В настоящее время равенство гравитационной и инертной массы установлено опытным путём с точностью до 10^{-16} . Эйнштейн постулировал совпадение гравитационной и инертной массы, приняв этот факт в качестве истинной природы тяготения и положив его в основу ОТО. В книге «Эволюция физики», написанной А. Эйнштейном и Л. Инфельдом, авторы отмечают: «Является ли это равенство обеих масс чисто случайным, или же оно имеет более глубокий смысл? С точки зрения классической физики ответ таков: равенство обеих масс случайно, и нет никакого смысла придавать этому факту большое значение. Ответ современной физики совершенно противоположен: равенство обеих масс имеет фундаментальный смысл и составляет новую, весьма существенную руководящую идею, ведущую к более глубокому познанию мира. Действительно, это была одна из самых важных идей, из которой развивалась так называемая общая теория относительности».

Для обоснования тезиса о совпадении гравитационной и инертной массы Эйнштейн рассматривает следующий умоглядный эксперимент (лифт Эйн-

штейна). Предположим, что наблюдатель, находящийся в закрытом лифте, перестаёт ощущать свой вес, т.е. оказывается в состоянии невесомости. Тогда он не сможет определить – что же произошло в действительности: исчезновение гравитационного поля Земли или падение лифта вниз с ускорением свободного падения. Иначе говоря, гравитационные силы, проявляющиеся в связанной с Землёй системе отсчёта, «исчезают», если перейти в другую систему отсчёта, которая, движется с ускорением свободного падения по направлению действия гравитационных сил. (Этот эффект невесомости возникает, например, в космическом корабле, совершающем полёт вокруг земного шара: движение космического корабля складывается из равномерного движения по горизонтали и ускоренного падения по вертикали.)

Но если можно «убрать» гравитационные силы с помощью равноускоренного движения, то их можно и «создать», двигаясь равноускоренно в противоположном направлении. Это и есть ключевая физическая идея, лежащая в основе ОТО. Эйнштейн формулирует её в виде следующего принципа.

***Принцип эквивалентности:** наблюдатель, помещённый в замкнутую систему отсчёта, никаким физическим опытом не может установить – движется эта система отсчёта с ускорением в «пустом» пространстве или покоится во внешнем гравитационном поле.*

Принцип эквивалентности Эйнштейна фактически означает, что в достаточно малой области пространства-времени (или, как говорят, «локально») сила гравитации эквивалентна силе инерции.

Например, для наблюдателя, находящегося в космосе на огромном расстоянии от источников сил тяготения можно «воссоздать иллюзию земного тяготения», если поместить его в ракету, движущуюся с ускорением свободного падения g . И это будет не просто иллюзия наподобие оптического обмана: все физические, химические и биологические явления в этой ракете будут протекать «точно так же», как для неподвижного наблюдателя, находящегося в поле земного тяготения.

Приняв принцип эквивалентности, мы тем самым постулируем, что все явления, происходящие в ускоренно движущихся системах отсчёта в «пустом» (т.е. лишённом материи) пространстве, будут иметь место в инерциальных системах отсчёта при наличии тяготения (в частности, этим объясняется факт совпадения гравитационной массы, которая определяется тяготением, и инертной массы, которая определяется ускорением). Но тогда геометрия в поле тяготения становится неевклидовой.

8.4. Гравитация как проявление искривления пространства-времени

Принцип эквивалентности воплощает в себе одну из самых глубоких идей XX века, исключая из рассмотрения само понятие гравитационного поля

и сводя гравитацию не к силе, как это делается в классической физике, а к искривлению пространства, т.е. к его геометрии. Действительно, проявление гравитации состоит в том, что она искривляет траектории *всех* движущихся тел, а это эквивалентно искривлению самого пространства. В свою очередь, искривление пространства «превращает» евклидову геометрию пространства в неевклидову – аналогично тому, как меняется геометрия при изгибании плоского листа бумаги или растяжении резиновой пленки.

В чем же физическая причина такого искривления? Общая теория относительности трактует искривление реального физического пространства как результат неравномерного распределения и движения масс. Каждый обладающий массой объект Вселенной как бы оставляет вокруг себя «вмятину», искривляющую окружающее его пространство (вблизи больших масс искривление пространства больше), что отражается на движении других тел. Например, поднятый над поверхностью Земли камень падает на нее не потому, что она его «притягивает», – он просто «скатывается» к ней аналогично тому, как скатывается маленький шарик к большому, скажем, на резиновой пленке: большой шарик прогибает пленку, и маленький шарик движется к большому по этому прогибу.

В общей теории относительности установлено не только искривление пространства под действием находящихся в нем масс, но и замедление скорости течения времени в сильных полях тяготения. Например, время распространения радиосигнала, проходящего вблизи Солнца, увеличивается (зафиксированное в экспериментах «время задержки» составляет величину порядка 0,0002 с). Специальные «ядерные часы» позволяют обнаружить разницу в течении времени даже в масштабах высоты здания: на крыше здания время течет чуть быстрее, чем у его основания. В любой движущейся системе отсчета время течет «своим темпом».

Обобщением закона инерции на случай искривлённых пространств выступает следующий принцип: мировыми линиями движения свободных тел (не находящихся под действием внешних сил) являются не прямые, – как в первом законе Ньютона, – а геодезические, т.е. линии, для которых собственное время движения между любыми двумя точками минимально. В частности, по геодезическим движутся световые лучи. Таким образом, согласно ОТО, в отсутствие внешних сил (кроме, может быть, тяготения) тела движутся по искривлённым траекториям, являющимся «самыми короткими» в искривленном пространстве-времени.

Математической моделью физического пространства в ОТО служит так называемое 4-мерное *риманово пространство*. Метрика риманова пространства (расстояние между двумя бесконечно близкими точками) задаётся в виде

$$ds^2 = \sum_{\alpha, \beta=1}^4 g_{\alpha \beta}(x) dx^\alpha dx^\beta,$$

где коэффициенты $g_{\alpha \beta}$ (компоненты метрического тензора) являются функциями от координат точки. С физической точки зрения величины $g_{\alpha \beta}(x)$ определяются распределением и движением материи.

В математических терминах искривление пространства означает наличие у него ненулевой кривизны. Понятие кривизны играет в общей теории относительности фундаментальную роль: именно кривизна пространства определяет его основные физические свойства. Хотя представить наглядно искривлённое 4-мерное пространство мы не в состоянии, хорошим аналогом здесь служат искривлённые поверхности в 3-мерном евклидовом пространстве, являющиеся важнейшим примером 2-мерных римановых пространств.

Формально наличие кривизны пространства проявляется в том, что коэффициенты $g_{\alpha \beta}$ не являются постоянными. В случае, когда величины $g_{\alpha \beta}$ постоянны, получается так называемое *плоское* (т.е. неискривлённое) пространство – таким является 4-мерное пространство-время в СТО.

- В 1916 г. Эйнштейном были получены основные уравнения общей теории относительности, которые выражают связь между геометрическими свойствами пространства-времени и распределением и движением материи. Уравнение Эйнштейна имеет тензорный характер и, помимо метрического тензора $g_{\alpha \beta}$, содержит определяемый физическими соображениями тензор энергии-импульса $T_{\alpha \beta}$, характеризующий распределение и плотность материи, а также скалярную величину k – кривизну пространства. Основная идея уравнений Эйнштейна состоит в том, что распределение материи определяет геометрию пространства-времени, и, следовательно, гравитацию, а последняя обуславливает характер движения материи.

К настоящему времени получено достаточно большое число опытных данных, подтверждающих ОТО (например, искривление лучей света вблизи массивных тел; эффект абсолютного замедления времени в гравитационном поле или при ускоренном движении, зарегистрированный по времени распада нестабильных ядер). ОТО является базовой теорией в космологии, а также при исследовании свойств микромира, где эффекты теории относительности становятся заметными.

8.5. Значение ОТО для современной физической картины мира

Если СТО связывает воедино пространство и время, то ОТО устанавливает триединую связь: пространство-время-материя. Суть этой связи была пояснена самим Эйнштейном следующими словами. «Раньше полагали, что если

бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы; теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы и пространство, и время».

Существующая в ОТО связь между свойствами пространства и движением в нём масс может быть выражена в нестрогой форме следующим правилом, сформулированным американским физиком Джоном Уилером: *пространство «говорит» веществу – как ему двигаться, а вещество «говорит» пространству – как ему искривляться*. Таким образом, согласно ОТО, пространство – не просто «вместилище» материи, как это представлялось до начала XX века, оно играет активную роль для движения в нём материальных тел.

Теория относительности полностью отказалась от существовавших в классической физике представлений о пространстве, времени и материи. Относительны не только все измерения в пространстве и времени (так как они зависят от движения наблюдателя), но и сама структура пространства-времени, которая определяется распределением вещества во Вселенной. А так как вещество распределено во Вселенной неравномерно, то пространство искривлено, и время в разных частях Вселенной течёт с разной скоростью.

Тесное переплетение свойств пространства и времени со свойствами гравитации навело Эйнштейна на мысль о существовании связи пространства-времени с другими физическими полями, что привело к программе геометризации физики. Этой программе Эйнштейн посвятил последние 30 лет своей жизни. Хотя его подходы к построению «единой теории поля» не привели к успеху, сама программа оказалась исключительно плодотворной. В частности, к этой программе можно отнести теорию 5-мерного пространства-времени (Калуца и Клейн, 1921 г.), в которой электромагнетизм включался в геометрическую структуру пятимерного пространства, а также современные теории калибровочных полей и суперсимметрий. В этих теориях в структуру пространства-времени включаются также другие фундаментальные взаимодействия. Таким образом, предпринимается попытка объяснить все силы природы как проявление кривизны пространства более высокой размерности.

Теория относительности не только подтвердилась развитием современной физики, но стала, в конечном счете, основой многих ее важных прикладных разделов, таких, как атомная энергетика, лазерная техника, изучение атомного ядра, астрофизические исследования, создание ускорителей.

Тема 9: Космологические модели Вселенной

9.1. Космологические постулаты. Вселенная Эйнштейна.

*9.2. Открытие А.А. Фридманом нестационарности Вселенной.
«Разбегание» галактик.*

9.3. *Зависимость типа эволюции Вселенной от плотности материи. Жизнь во Вселенной.*

9.4. *Конечна или бесконечна Вселенная?*

9.1. Космологические постулаты. Вселенная Эйнштейна

Целостное представление о Вселенной формируется на основе изучения её космологических моделей. Все современные космологические модели базируются на *космологическом уравнении Эйнштейна*, полученном им в рамках ОТО в 1916 г. Космологическое уравнение Эйнштейна описывает пространственно-временную геометрию Вселенной.

При построении любой модели всегда делаются упрощающие предположения (принцип идеализации Галилея, см. тему 3, вопрос 2). Основные упрощающие предположения, сделанные Эйнштейном при выводе им космологического уравнения – это так называемые *космологические постулаты*. Рассмотрим эти постулаты.

Постулат однородности Вселенной означает равномерность в среднем распределения в ней вещества (или одинаковость в среднем плотности материи). Поскольку основная масса вещества Вселенной сосредоточена в галактиках, то постулат однородности может быть переформулирован следующим образом: в каждом достаточно большом объёме Вселенной содержится приблизительно одинаковое число галактик (под «достаточно большим» объёмом понимается куб с ребром не менее 300 млн световых лет). Действительно, при переходе ко всё большим объёмам Вселенной наблюдается всё более однородная картина распределения в ней вещества.

Постулат изотропности состоит в том, что во Вселенной не существует выделенных направлений, т.е. все физические свойства пространства одинаковы по всем направлениям. До настоящего времени не отмечалось никаких нарушений этого условия, таким образом, постулат изотропности так же, как и постулат однородности вполне правдоподобен.

Стационарность Вселенной означает неизменность в среднем её основных характеристик: массы, плотности и объёма. Такое предположение соответствовало общепринятым взглядам на Вселенную в начале XX века.

При решении космологического уравнения Эйнштейн ввёл в него так называемый «космологический член» λ , физический смысл которого состоит во введении «сил отталкивания», компенсирующих силы тяготения, что обеспечивает стационарность Вселенной. Таким образом, постулат стационарности математически эквивалентен наличию в космологическом уравнении космологического члена λ . Найдя решение космологического уравнения (с космологическим членом), Эйнштейн получил все основные характеристики

Вселенной. В частности, Вселенная Эйнштейна оказалась конечной. Однако впоследствии выяснилось, что один из постулатов, на которых базировался Эйнштейн, – постулат стационарности Вселенной – ошибочен: Вселенная *нестационарна*.

9.2. Открытие А.А. Фридманом нестационарности Вселенной. «Разбегание» галактик

В 1922 г. отечественный учёный математик и геофизик А.А. Фридман установил, что космологическое уравнение Эйнштейна имеет решение без введения в него космологического члена (так называемое *нестационарное решение*, то есть решение, зависящее от времени). Отсюда следует факт нестационарности Вселенной, т.е. Вселенная должна либо сжиматься, либо расширяться. Вначале Эйнштейн с недоверием воспринял этот результат. Но через некоторое время он – великий учёный – признал правоту Фридмана.

В 1929 г., через 7 лет после открытия Фридмана пришло экспериментальное подтверждение факта нестационарности Вселенной: американский астроном Эдвин Хаббл обнаружил смещение спектральных линий в спектрах всех наблюдаемых галактик (так называемое «красное смещение»); в силу эффекта Доплера это свидетельствует об удалении всех галактик от нашей Галактики. Но так как наша Галактика не занимает никакого исключительного положения во Вселенной (и, во всяком случае, не является её центром), то отсюда следует, что все галактики удаляются друг от друга (явление «разбегания галактик»). В дальнейшем был установлен характер «разбегания галактик»: оно происходит не в пространстве, а представляет собой *расширение самого пространства*, причём внутригалактические расстояния практически не меняются, а межгалактические расстояния между любыми двумя галактиками всё время увеличиваются. При построении графика зависимости скорости «убегания» галактик от расстояния до них Хаббл обнаружил, что этот график представляет собой прямую линию, т.е. скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию до неё. Таким образом, формула Хаббла имеет вид

$$v = Hr,$$

где v – скорость взаимного удаления галактик, r – расстояние между галактиками, H – постоянная Хаббла, приблизительное значение которой равно 55 км/с на мегапарсек. (Например, если две галактики находятся на расстоянии в 10 Мпк, они удаляются друг от друга со скоростью 550 км/с.) Разбегание галактик служит блестящим подтверждением предсказанного А.А. Фридманом на математической основе факта нестационарности Вселенной. *Откры-*

тие нестационарности Вселенной явилось одним из самых выдающихся открытий космологии XX века.

С течением времени постоянная Хаббла уменьшается, а значит, уменьшается относительная скорость разлёта галактик. Будут ли галактики разлетаться вечно или процесс их разлёта прекратится? Существуют два основных «сценария» дальнейшей эволюции Вселенной, дающие ответ на этот вопрос. Эти сценарии соответствуют «открытой» и «замкнутой» модели Вселенной.

«Открытая» модель. В случае «открытой» модели разбегание галактик никогда не прекращается. По мере расширения пространства плотность материи уменьшается, температура микроволнового фона приближается к абсолютному нулю. Со временем (приблизительно через 10^5 миллиардов лет) все звёзды завершают свой жизненный цикл и превращаются либо в Чёрных карликов, либо в нейтронные звёзды, либо в Чёрные дыры. Заканчивается эра светящегося вещества. Через огромный промежуток времени Чёрные дыры начнут испаряться (или взрываться), выбрасывая в окружающее пространство потоки частиц и излучение. На последней стадии существования материи Вселенная будет представлять собой безбрежное море разреженного излучения.

«Замкнутая» модель. В случае «замкнутой» модели расширение Вселенной замедляется и затем оно сменяется сжатием. Сжатие Вселенной повторяет её расширение, но только в обратном порядке: галактики начинают сбегаться, красное смещение заменяется фиолетовым, температура микроволнового фона растёт. Процесс сжатия Вселенной ничто не остановит, и она, пройдя через сверхплотную горячую фазу, в конце концов «сожмётся в точку». Таким образом, Вселенная как бы повторяет свою историю, но в обратном порядке. Расчёты показывают, что весь цикл: «расширение – остановка – сжатие» занимает время порядка 100 миллиардов лет, поэтому в случае «замкнутой» модели мы находимся ещё в начальной фазе развития. Что же дальше, т.е. после «сжатия в точку»? Будут ли новые циклы и будут ли они повторением предыдущих? Однозначных ответов на эти вопросы пока нет. При каждом новом цикле могут образовываться другие элементарные частицы, что коренным образом отразится на характере его протекания. Надо также иметь в виду, что в случае повторения цикла никакой информации о предыдущем цикле не остаётся: когда вещество сжимается до сверхплотного состояния, молекулы и атомы распадаются на элементарные частицы, которые также претерпевают качественные изменения. В таком состоянии материя как бы «забывает» своё прошлое и после следующего расширения всё развитие мира начинается заново. Повторение циклов «расширение – сжатие» – это одна из гипотез, которую нельзя ни доказать, ни опровергнуть.

9.3. Зависимость типа эволюции Вселенной от плотности материи. Жизнь во Вселенной

Остаётся рассмотреть вопрос – какая из указанных моделей эволюции Вселенной – «открытая» или «замкнутая» имеет место в действительности. Оказывается, что тип модели определяется одним параметром – *средней плотностью вещества* во Вселенной (плотностью материи) ρ . А именно, существует некоторое критическое значение плотности $\rho_{кр.}$ такое, что если $\rho < \rho_{кр.}$, то реализуется «открытая» модель, а если $\rho > \rho_{кр.}$, то реализуется «замкнутая» модель. По-существу, противостояние «открытой» и «замкнутой» моделей есть противостояние между кинетической и потенциальной энергией Вселенной: если $\rho < \rho_{кр.}$, то «побеждает» кинетическая энергия; если же $\rho > \rho_{кр.}$, то «берёт верх» потенциальная энергия.

При сегодняшнем значении постоянной Хаббла $H \approx 55$ км/с на мегапарсек получается значение критической плотности $\rho_{кр.} \approx 10^{-29}$ г/см³.

Вопрос нахождения средней плотности материи во Вселенной решается эмпирически. Зная примерное число галактик, находящихся в «достаточно большом» объёме Вселенной, и их массы, можно оценить среднюю плотность вещества Вселенной. Она составляет приблизительно $\rho \approx 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³. Таким образом, на сегодняшний день имеет место $\rho < \rho_{кр.}$, что приводит к «открытой» модели Вселенной.

Однако оценку средней плотности материи нельзя считать окончательной. Дело в том, что ещё не оценена плотность «скрытой материи», к которой относят трудно обнаруживаемые или экзотические ее формы: остывшие или так и не загоревшиеся звёзды – Коричневые карлики, Чёрные дыры, ещё не открытые на Земле элементарные частицы, нейтрино, межгалактический газ и т.п. С учётом оценок этой «скрытой массы» наиболее вероятное значение средней плотности материи находится в интервале $3 \cdot 10^{-31} - 5 \cdot 10^{-29}$ г/см³, что не позволяет дать окончательный ответ о соотношении между ρ и $\rho_{кр.}$.

Итак, вопрос о соотношении между средней и критической плотностью материи, а, значит, и главный вопрос о характере Вселенной («открытая» она или «замкнутая») остаётся открытым.

В заключение темы коснёмся ключевого вопроса – о жизни во Вселенной. Если имеет место «замкнутая» модель, то необходимые условия для развития жизни имеются только в течение одного цикла расширения-сжатия. В «открытой» модели условия для существования жизни определяются наличием энергии. Последние запасы энергии во Вселенной исчерпаются с

распадом Чёрных дыр, после чего наступит космический энергетический кризис.

9.4. Конечна или бесконечна Вселенная?

Вплоть до начала XX века наука полагала, что Вселенная бесконечна как в пространстве, так и во времени. Число небесных тел во Вселенной (в частности, звёзд) считалось бесконечным. Общее количество материи и энергии во Вселенной полагалось постоянным. Предполагалось, что происходит лишь вечный круговорот материи и энергии, в целом же Вселенная остаётся вечной и неизменной. Подобная картина казалась стройной и логически завершённой. Однако уже к середине XVIII века появились первые противоречия с, казалось бы, устоявшейся картиной Вселенной (парадоксы Шезо, Зелигера, Клаузиуса).

В Новое время эволюция представлений о структуре пространства и времени была связана, во-первых, с созданием все более мощных телескопов, неизмеримо расширивших пределы видимого мира, а во-вторых, с развитием механики Ньютона и ее применением к анализу движения небесных тел. Важными шагами на пути познания Вселенной стало открытие других галактик и установление химического состава звезд с помощью спектрального анализа, что привело к выводу о единстве физико-химического строения вещества Земли, Солнца и звезд. Все эти открытия способствовали формированию механистической картины мира. До второй половины XIX в. эта картина (в своих материалистических вариантах) исходила из представлений о бесконечности Вселенной как в пространстве, так и во времени.

Естественнонаучные подходы к осмыслению проблем пространства и времени стали возможными после создания Эйнштейном общей теории относительности (ОТО) и основанной на ней релятивистской космологии. Проблемы начала существования мира, соотношения между космическим и историческим временем, «сотворенности-несотворенности» мира стали обсуждаться в науке со второй половины XX века в связи с концепцией Большого взрыва. В настоящее время считается, что Большой взрыв, произошедший 13–15 млрд лет назад, знаменует начало физического существования Вселенной (а значит, вместе с тем, пространства и времени).

С начала XX в. коренные изменения произошли и во взглядах на структуру пространства. До этого считалось, что геометрия Вселенной описывается геометрией Евклида, а физика – законами Ньютона. Решающую роль в новых взглядах на структуру физического пространства сыграло появление неевклидовых геометрий. Неевклидовость геометрии реального пространства послу-

жила математической основой общей теории относительности (ОТО), которая является базовой теорией современной релятивистской космологии.

Проблема структуры реального пространства имеет два аспекта – математический и физический. Математический аспект связан с разработкой математических теорий, которые могут рассматриваться как модели реального пространства. А физический аспект состоит в экспериментальной проверке тех свойств реального пространства, результатом которой является выбор наиболее подходящей (адекватной) модели пространства.

Оказывается, что вопрос о пространственной бесконечности Вселенной сводится к определению знака *кривизны пространства*, что, в свою очередь, определяется соотношением между средней плотностью материи ρ и критической плотностью $\rho_{кр.}$. Кривизна 3-мерного пространства – понятие более сложное, чем кривизна 2-мерной поверхности. Но если принять первые два космологических постулата Эйнштейна – постулат однородности и постулат изотропности Вселенной, – тогда кривизна пространства будет скалярной величиной, причём в один и тот же момент времени кривизна пространства является постоянной. Так как постоянная Хаббла H и средняя плотность вещества ρ меняются с течением времени, то со временем меняется и значение кривизны пространства, но знак кривизны остаётся неизменным в течение всей эволюции Вселенной.

Перейдём теперь к рассмотрению геометрии Вселенной. Возможны два основных случая.

1) $\rho > \rho_{кр.}$. Тогда кривизна пространства положительна. В этом случае во Вселенной реализуется так называемая *эллиптическая геометрия*. Такая Вселенная конечна, замкнута и безгранична («замкнутый мир»).

Конечность Вселенной означает конечность её объёма. В таком мире содержится конечное число элементарных частиц, звёзд, галактик.

Замкнутость Вселенной состоит в замкнутости её геодезических. В этом случае радиосигнал, идущий по любому направлению (по геодезической) возвращается, в конце концов, в первоначальную точку, «обогнув» всю Вселенную (аналогично меридиану на сфере).

Безграничность мира означает отсутствие у него границы, т.е. «стенки», за которой ничего нет.

Примером конечного, замкнутого, но безграничного мира является обычная сфера (её геодезические – дуги большого круга), однако сфера является пространством размерности 2. Наглядно представить 3-мерную замкнутую и безграничную Вселенную невозможно, но можно математически изучать её свойства.

2) $\rho < \rho_{кр.}$. В этом случае кривизна пространства отрицательна и во Вселенной реализуется так называемая *гиперболическая геометрия*. Такая Вселенная

ная бесконечна, она содержит бесконечное число элементарных частиц, звёзд, галактик.

Итак, вопрос о геометрии физического пространства сводится к определению знака его кривизны, что, в свою очередь, зависит от соотношения средней и критической плотности материи. Это же условие определяет дальнейшую эволюцию Вселенной: в бесконечной Вселенной разбегание галактик никогда не прекращается, а в конечной Вселенной разбегание галактик сменится их сбеганием.

Тема 10: Жизнь как космический феномен

- 10.1. Космический характер процессов развития жизни.*
- 10.2. Химическое единство мира.*
- 10.3. Временная и пространственная упорядоченность мира.*
- 10.4. Циклы и ритмы живой природы.*
- 10.5. Биосферная концепция организации жизни.*

10.1. Космический характер процессов развития жизни

До недавнего времени считалось, что развитие жизни на Земле есть локальный феномен. Другими словами, существенными для течения жизни являются только те процессы, которые имеют место на Земле и в Солнечной системе, а то, что происходит за их пределами, – никакого влияния на жизнь не оказывает. Теперь ясно, что это не так: вся эволюция Вселенной от момента её возникновения при Большом взрыве, произошедшем 13–15 млрд лет назад, как бы подготовила возникновение жизни.

Земля не изолирована от космоса. Межзвёздное и межгалактическое пространство насыщено электромагнитными излучениями различных частот и энергий. Попадая в атмосферу Земли, высокоэнергетические космические лучи сталкиваются с ядрами атомов, при этом образуется огромное количество вторичных частиц, которые либо распадаются, либо вступают в дальнейшие взаимодействия с другими частицами. Потоки излучений далёких галактик могут быть достаточно мощными. Так, галактика Лебедь *A* удалена от Земли на 600 млн световых лет, однако мощность её излучения в радиодиапазоне превышает мощность радиоизлучения Солнца, которое удалено от Земли на 8,5 световых минут. Таким образом, явления, происходящие не только на Солнце, но и далеко за пределами Солнечной системы, оказывают непосредственное влияние на процессы, происходящие на Земле. Зарождение и развитие жизни на Земле есть закономерное проявление эволюции космоса. *Жизнь представляет собой не локальный, а космический феномен.*

- Активным сторонником космического характера жизни на Земле был Владимир Иванович Вернадский, один из выдающихся естествоиспытателей второй половины XIX – первой половины XX века. Молекулярные кристаллические структуры, планетарные геохимические оболочки, история минералов, геологическая роль «живого вещества» в истории Земли, учение о биосфере, – вклад Вернадского во все эти области знания невозможно переоценить.

Обсуждая различные аспекты эволюции органического мира, Вернадский неизменно рассматривал её как часть эволюции биосферы, а образование и эволюцию биосферы он связывал с самоорганизацией космоса. По словам Вернадского «жизнь есть явление космическое, а не специально земное». Вернадский считал, что именно «встроенность» в общекосмический эволюционный процесс позволяет на строго научной основе изучать явление жизни.

Приведём несколько примеров непосредственного влияния космоса на процессы, связанные с зарождением и развитием жизни.

- По гипотезе академика И.С. Шкловского возникновению жизни на Земле мог способствовать повышенный уровень радиации, приходящей на Землю от Солнца и от далёких галактик.
- Во время взрыва сверхновой звезды синтезируется масса тяжёлых химических элементов (без которых, по-видимому, жизнь невозможна), и некоторая их часть выбрасывается в космическое пространство, смешиваясь с водородом. В результате следующее поколение звёзд, образовавшееся из обогащённого водорода, содержит примесь тяжёлых элементов; например, на Солнце их концентрация в 4 раза выше, чем в космосе. Таким образом, чтобы жизнь появилась на Земле, звёзды должны были вначале «собраться» (т.е. сформироваться из газопылевых туманностей), потом взорваться, потом собраться ещё раз.
- Солнце движется вокруг оси, перпендикулярной Галактической плоскости, по особой траектории – *траектории коротации*, в узкой окрестности которой отсутствует активное звёздообразование и мала вероятность вспышек сверхновых звёзд. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно для зарождения и существования жизни, так как вспышка сверхновой вблизи от Солнца может привести к полному исчезновению жизни на Земле.
- Для своего возникновения и развития жизнь требует постоянного внешнего потока свободной энергии. Для Земли эту роль выполняет солнечный свет. Свет Солнца необходим на всех этапах эволюции жизни, начиная с абиотического синтеза первичных живых систем и кончая фотосинтезом, обеспечивающим образование органических веществ.

Связь между циклами солнечной активности и биологическими явлениями на Земле была замечена давно. Так, английский астроном XVIII века В. Гершель обратил внимание на зависимость урожая пшеницы от числа солнечных пятен. В конце XIX века профессор Одесского университета Ф.Н. Шведов, изучая срезы ствола столетней акации, обнаружил, что толщина годичных колец изменяется каждые 11 лет в соответствии с циклами солнечной активности. Основатель гелиобиологии, выдающийся русский учёный А.Л. Чижевский (1897–1964) отмечал, что динамика нашей планеты и составляющих

её частей – атмосферы, гидросферы и литосферы протекает под влиянием Солнца. Чижевский считал, что Солнце диктует ритм большинства биологических процессов на Земле. Когда на Солнце образуется много пятен, появляются хромосферные вспышки и увеличивается яркость короны, тогда на Земле разражаются эпидемии, усиливается рост деревьев, особенно активно размножаются насекомые и микроорганизмы. Глубокие идеи высказывал Чижевский о влиянии солнечной активности на творческую деятельность людей и их социальную жизнь. В 1924 г. он опубликовал итоги статистического анализа истории более чем 50-ти государств и народов всех континентов с V века до нашей эры до 1914 года. В этом исследовании выявились циклические колебания числа важнейших исторических событий со средним периодом в 11 лет, которые Чижевский однозначно связал с 11-летними циклами активности Солнца.

Итак, явления возникновения и развития жизни не могут быть поняты в отрыве от процессов, происходящих в ближнем и дальнем космосе. В последнее время происходит возрождение, но уже на научной основе, восходящих к античности представлений о космосе как целостном единстве, проявляющемся во взаимосогласованности, соразмерности, упорядоченности, единстве живого и неживого.

10.2. Химическое единство мира

Основные химические элементы образовались в недрах звёзд. Из этих же элементов состоит Земля и все существующие на ней тела неживой и живой природы. В следующей таблице указан состав звёзд, Солнца, растений и животных (См.: *Калвин М. Химическая эволюция* М.: Мир, 1971. С. 113).

Таблица 2

Элементарный состав звёздного и солнечного вещества при сопоставлении с составом растений и животных

| Химический элемент | Содержание, % | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------|----------|----------|
| | Звёздное вещество | Солнечное вещество | Растения | Животные |
| Водород (H) | 81,76 | 87,0 | 10,0 | 10,0 |
| Гелий (He) | 18,17 | 12,9 | – | – |
| Азот (N) | 0,33 | 0,33 | 0,28 | 3,0 |
| Углерод (C) | | | 3,0 | 18,0 |
| Магний (Mg) | | | 0,08 | 0,05 |
| Кислород (O) | 0,03 | 0,25 | 79,0 | 65,0 |
| Кремний (Si) | 0,01 | 0,004 | | |

| | | | | |
|----------------------|-------|------|------|-------|
| Сера (S) | | | 0,15 | 0,254 |
| Железо (Fe) | | | | |
| Другие эле- менты | 0,001 | 0,04 | 7,49 | 3,696 |

На основе приведённых в табл. 2 данных можно сделать следующие выводы.

1. *Основные объекты Вселенной – звёзды, Солнце, планеты, растения и животные построены из одних и тех же атомов.* Наблюдается близость химического состава объектов Вселенной, разделённых гигантскими расстояниями. Это свидетельствует о химическом единстве Вселенной, единстве живой и неживой природы.

2. *Наиболее распространён во Вселенной водород.* Прослеживается существенное возрастание процентного содержания кислорода, азота, а также тяжёлых элементов в телах растений и животных.

3. *Четыре элемента: водород, углерод, азот и кислород, наиболее широко распространённые во Вселенной, также в наибольшем количестве представлены и в живых организмах.* На их долю приходится 92 – 96% массы всех химических элементов, составляющих тела живой природы.

Таким образом, живые организмы построены из наиболее простых и наиболее распространённых во Вселенной атомов.

Жизнь использовала в качестве своего субстрата самые доступные атомы. Водород, кислород, углерод и азот находятся в первых двух периодах таблицы Менделеева. Атомы этих элементов имеют наименьшие размеры и способны к образованию устойчивых и кратных связей, что повышает их реакционную способность. Замечательная способность углерода, состоящая в образовании длинных цепей, обуславливает возникновение сложных полимеров, без которых зарождение и развитие жизни было бы невозможным.

Другие два биогенных элемента – сера и фосфор – присутствуют в живых организмах в относительно малых количествах, но их роль для жизни особенно велика. Химические свойства этих элементов также дают возможность образования кратных связей. Сера входит в состав белков, а фосфор – составная часть нуклеиновых кислот.

Кроме указанных шести биогенных элементов, в состав живых организмов в малых количествах входят ещё 15 химических элементов: положительные ионы натрия, калия, магния, кальция и отрицательный ион хлора; микроэлементы, встречающиеся в организмах в следовых количествах, – марганец, железо, кобальт, медь, цинк и ещё более редкие – бор, алюминий, ванадий, молибден, йод. Таким образом, субстрат жизни составляет 21 химический элемент. Каждый элемент, входящий в состав живого организма играет в нем определенную роль. Так, железо используется для образования гемоглобина;

кобальт – для синтеза витамина V_{12} ; молибден, марганец и ванадий необходимы для образования ферментов. Включение в состав живых организмов не только самых распространённых элементов, но и редких связано с осуществлением специальных функций жизни, основанных на химических свойствах составляющих её атомов (например, йод входит в состав гормона щитовидной железы позвоночных животных – тироксина, играющего важную роль в обмене веществ).

10.3 . **Временная и пространственная упорядоченность мира**

Для развития сложной системы важную роль играет такое явление, как *ритмичность*, то есть упорядочение различных процессов во времени. Говоря о ритмичности природных процессов, следует иметь в виду, что ритмичность свойственна объектам как живой, так и неживой природы. Она обусловлена различными причинами космического и планетарного характера: обращением Земли вокруг Солнца, сменой времен года, сменой дня и ночи, обращением Луны вокруг Земли, океаническими приливами и отливами, периодическими изменениями Солнечной активности и т.д.

Ритм сотворения и разрушения присутствует не только в чередованиях дня и ночи, смене времён года, рождении и гибели живых организмов; он выступает в качестве основной сущности материи. Каждая материальная частица принимает участие в своеобразном «танце энергии» – пульсирующем процессе обмена веществом и энергией с другими частицами. Также и вся Вселенная в целом постоянно находится в ритмическом процессе сотворения и разрушения.

В микромире основу всех движений составляют волнообразные, колебательные движения, носящие периодический характер. Особый интерес представляют колебания на клеточном и организменном уровне. Впервые колебания подобного типа обнаружил французский астроном Мэран в начале XVIII века. Наблюдая в часы бессонницы за комнатными цветами, он заметил, что их листья совершают ежесуточно повторяющиеся периодические движения. Позже подобные наблюдения проводил Ч. Дарвин. Круг организмов, у которых была обнаружена периодическая повторяемость биохимических процессов, постепенно расширялся, а само это явление получило название «биологические часы».

Остановимся вкратце на явлении согласования ритмичности, то есть явлении *синхронизации*. Наличие согласованной ритмичности у нескольких внешне различных систем указывает на то, что в действительности они функционируют в рамках одной, более общей системы [12]. Например, синхронизация изменений активности Солнца со многими процессами на Земле свидетельствует о реальности Солнечной системы, которая проявляется не только в рамках небесной механики, но и во многих других отношениях.

Важно отметить, что для объяснения синхронизации и согласования различных процессов в сложных системах (каковыми являются, в частности, природные системы) механизма причинно-следственных связей недостаточно. Синхронизация – это гораздо более сложное явление, чем простая цепочка причин и следствий (или стимулов и реакций): в процессе синхронизации участвует вся система в целом, поэтому и сама синхронизация не сводится к сумме адаптационных, приспособительных реакций. Сложная эволюционирующая система представляет собой не жёсткую структуру, разложимую на составные элементы, а гибкую сеть целостных взаимосвязей. Эта сеть образована путём тесной кооперации и координации обширного множества специализированных элементов системы, поэтому импульс в одном месте порождает множество ответных импульсов в различных частях системы. В результате происходит быстрая и весьма тонкая «самонастройка» системы на меняющиеся условия внешней или внутренней среды, что и является основой синхронизации.

Упорядоченность различных процессов во времени сочетается с их упорядоченностью в пространстве. Наиболее важной формой пространственной упорядоченности является *симметрия*, которая проявляется как для объектов микромира (симметрия атомов и молекул), так и объектов макромира (симметрия кристаллов, снежинок, живых организмов), а также объектов мегамира (симметрия планет, звезд, галактик и скоплений галактик). Пространственная упорядоченность и, в частности, симметрия в мире проистекает из симметрии физических законов.

Так как физические процессы протекают в пространстве и во времени, то при их математическом описании необходимо использовать некоторую систему координат. Однако выбор конкретной системы координат выделяет в пространстве некоторые направления (отвечающие осям координат), что не согласуется со свойством изотропности пространства, т.е. равноправия всех его направлений. Поэтому в качестве физического закона может выступать только такое математическое соотношение, которое не меняется при произвольном повороте осей. Кроме того, учет свойства однородности пространства (состоящего в равноправии всех его точек), а также однородности времени влечет независимость физического закона как от выбора начала системы координат, так и от начала отсчета времени. Таким образом, «соображения симметрии» накладывают сильные ограничения на математическую форму физических законов. В качестве важного примера математического выражения, не зависящего от поворота осей и переноса начала системы координат можно указать функцию $F = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2$, выражающую квадрат длины вектора \vec{a} через его координаты (a_x, a_y, a_z) в декартовой системе координат. Если взять произвольную функцию

трех переменных $f(x, y, z)$, то ее вторые частные производные $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$

преобразуются так же, как квадраты координат вектора, поэтому сумма этих производных будет инвариантна относительно указанных выше преобразова-

ний системы координат. Это обстоятельство определяет роль в физике так называемого *оператора Лапласа* $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$. А именно, простейшие физические законы, удовлетворяющие условиям симметрии (обусловленным изотропностью и однородностью пространства), могут записываться лишь в виде одного из следующих дифференциальных уравнений:

$\Delta u = f$ (уравнение Пуассона, обращающееся при $f = 0$ в уравнение Лапласа);

$\Delta u = a \frac{\partial u}{\partial t}$ (уравнение теплопроводности);

$\Delta u = a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ (волновое уравнение).

Помимо «соображений симметрии», связанных с симметриями пространства и времени, необходимо учитывать симметрию изучаемых физических объектов. Упрощенно говоря, объекты, возникающие в природе, сохраняют только те симметрии, которые совпадают с симметриями среды. В 1963 г. американский физик-теоретик Юджин Вигнер получил Нобелевскую премию по физике за исследования принципов симметрии, лежащих в основе взаимодействия элементарных частиц.

Еще один принцип, объясняющий пространственную упорядоченность мира, состоит в том, что физические системы стремятся занять состояние с минимальной энергией, которое является в определённом смысле простейшим. Формой физических законов объясняется также и временная упорядоченность: многие физические законы допускают периодическое поведение (в силу чего, например, все объекты мегамира – планеты, звёзды, галактики – движутся по периодическим орбитам). Отметим, что свойство периодичности представляет собой по существу симметрию специального вида. Дело в том, что время одномерно и геометрически представляется числовой прямой, а естественные симметрии на прямой – это сдвиги, то есть периодические повторения. Таким образом, все мироздание – от микро- до мегамира «пронизано» разнообразными симметриями, находящими выражение в форме физических законов. Физические законы носят универсальный характер, т.к. их под их действие попадают все объекты микро-, макро- и мегамира. Именно в универсальности физических законов заключено физическое единство мира.

Мир чрезвычайно чувствителен к самым малым вариациям физических законов: даже при небольших изменениях физических законов мир стал бы совсем другим. Ключевую роль для мира играют значения фундаментальных постоянных (констант), к которым относятся скорость света, постоянная Планка, массы и заряды атомных частиц. Именно фундаментальные константы определяют масштаб физических явлений – размеры ядер, атомов, звёзд, планет, размеры живых организмов, плотность вещества во Вселенной, время жизни звёзд

и т.д. Из-за переплетения конкурирующих процессов структуры всех систем живой и неживой природы зависят от всех управляющих ими взаимодействий и, тем самым, – от фундаментальных констант.

10.4. Циклы и ритмы живой природы

Исследования последних лет показывают, что вещественно-энергетические процессы в биосистемах любого уровня сложности протекают ритмично. В настоящее время общепринято, что любая биохимическая система функционирует по периодическому принципу. Наслаивающиеся друг на друга химические реакции обеспечивают периодическое изменение концентрации химических веществ, что влечет периодическое течение биологических процессов.

На ритмичности основаны взаимодействия между биологическими системами и окружающей средой: биоритмы согласованы с геофизическими и космическими ритмами. Можно выделить следующие особенности ритмической организации биосистем [14].

1. Биосистемы любого уровня – от молекулярного до биологического – функционируют в колебательном режиме. Колебания элементов системы с различными парциальными частотами сводятся к некоторой синхронной частоте; тем самым биосистема подчиняется ритмам системы более высокого уровня.

2. Как показывает теория синхронизации, если различие между парциальными частотами объектов достаточно мало, то наступает их самосинхронизация. В то же время внешняя синхронизация может происходить при слабых синхронизирующих сигналах.

3. Колебания в биосистемах связаны с электромагнитными полями, а синхронизация – с электромагнитными сигналами. Колебания в макромолекулах и клетках происходят в виде флуктуаций распределения поверхностных зарядов и дипольных моментов, а в организме – это, в основном, колебания электрического потенциала. Взаимосвязи между организмами посредством электромагнитных полей подтверждены на опытах, а также непосредственными наблюдениями электромагнитной сигнализации между организмами разных видов. При этом внешними синхронизаторами биоритмов являются электромагнитные поля земного и космического происхождения.

Характерной особенностью ритмических процессов в живой природе является их периодичность (цикличность), то есть повторяемость. Любой биологический процесс в целом представляет собой некоторый цикл, который, в свою очередь, включается в цикл более высокого уровня, тот – в следующий и т.д. При этом самыми важными являются циклы, определяемые влиянием космоса – сезонные и суточные. Вся деятельность живых существ приспособливается к ним свои ритмы и всё своё поведение. Главнейший цикл для живого организма – тот, который включает рождение, созревание, воспроизведение, старе-

ние и смерть организма. У микроорганизмов (например, бактерий), а также у клеток цикл воспроизведения непрерывен, а у более крупных организмов он носит сезонный характер. Циклы сотворения и разрушения имеются не только в жизни живых существ, они присущи всем процессам, происходящим во Вселенной. Таким образом, цикличность общий закон живой и неживой природы.

Особенность процесса синхронизации природных систем состоит в том, что, настраиваясь («попадая в резонанс») с процессами, протекающими вовне, эволюционирующая система становится как бы частью более общей системы, законам и ритмам которой она подчиняется. Происходит «встраивание» одной сети в более широкую сеть связей. В случае природных систем на Земле в качестве более широкой синхронизирующей системы выступает весь Космос. Таким образом, всё живое на Земле находится под воздействием космических ритмов. Их можно подразделить на три типа:

А) ритмы, действующие в антропоной шкале времени (суточные, месячные, сезонные, годовые);

Б) ритмы, действующие в геологической шкале времени (исчисляются десятками и сотнями тысяч лет);

В) ритмы, действующие в шкале мегамира (исчисляются миллионами лет).

Во всех природных биологических и экологических процессах ключевую роль играет синхронизация: любой живой организм – от клетки и до всей биосферы существует за счёт синхронизации, согласования происходящих в нём биохимических процессов как между собой, так и с процессами неживой природы. Взаимная синхронизация происходит в ансамблях макромолекул, объединённых в органеллах клетки и на её поверхности. Организмы подчиняются ритмам суточной и сезонной активности. Центральные регуляторные системы организма являются внешними синхронизаторами происходящих в нём физиологических процессов. Автономная синхронизация имеет место и в сообществах организмов – стаях, стадах, популяциях.

Все эти примеры демонстрируют роль механизма синхронизации в образовании и функционировании природных систем. *Именно синхронизация создает системное единство живой и неживой природы.*

10.5. Биосферная концепция организации жизни

Основы учения о биосфере были разработаны В.И. Вернадским. Им же была выявлена основополагающая роль биосферы в организации жизни. Напомним в связи с этим известные слова Вернадского: «Говоря о появлении на нашей планете жизни, мы в действительности говорим только об образовании на ней биосферы». Развитие идей Вернадского привело к концепции планетно-космической организации жизни.

В настоящее время биосферу рассматривают как сложную кибернетическую систему, в которой автономно-соподчинённая иерархия биосистем функционирует благодаря информационным взаимосвязям, а вся биосфера в целом – благодаря таким же связям с Космосом. Организация жизни в рамках единой системы – биосферы сводится к следующим основным положениям [14].

Пространственно-структурная организация биосферы. В 1920 г. Н.И. Вавилов на основе открытого им закона гомологических рядов показал, что многообразие форм живого можно свести в таблицу, подобную менделеевской, причём обнаруживается сходство гомологических рядов организмов с рядами углеводов. Основываясь на идеях В.И. Вернадского и Н.И. Вавилова, Ю.А. Урманцев [18] пришёл к выводу о том, что разнообразные системы природы – молекулы, кристаллы, организмы – подчинены определённым законам – законам структурной симметрии. Все эти системы можно расположить в «полиморфические ряды», подобные между собой. Проявление такого подобия есть проявление всеобщей организованности материального мира.

Временная организация биосферы. Многочисленные исследования последних десятилетий показали, что в биосистемах любого уровня сложности вещественно-энергетические процессы протекают ритмично. Ритмический характер носят взаимодействия между биосистемами всех рангов. Эти биоритмы согласованы с геофизическими и космическими ритмами. Внешними синхронизаторами биоритмов являются земные и космические электромагнитные поля.

Функциональная организация биосферы. Вернадский подчёркивал единство функционирования всего живого – от микробов до человека. Структурно-функциональная организация биосистем схематически может быть представлена в виде двух подсистем – инструктивной и посреднической. Поток информации из окружающей среды попадает сначала в посредническую подсистему, быстро реагирующую на любые внешние воздействия. Здесь информация подвергается отбору и преобразуется в определённые сигналы (главным образом, электромагнитные). Часть этих сигналов передаётся инструктивной подсистеме, а часть – исполнительным органам. Посредническая подсистема обеспечивает рефлекторные реакции организма на кратковременные и случайные воздействия, передавая соответствующие сигналы исполнительным органам. Инструктивная подсистема инерционна и обладает долговременной памятью. После получения информации от посреднической подсистемы, её накопления и анализа, инструктивная подсистема передаёт сигналы посреднической подсистеме, которая осуществляет передачу команд исполнительным органам, и, кроме того, часть информации передаётся наружу – другим биосистемам.

Так в общих чертах выглядит структурно-функциональная организация в живой природе. Например, в клетке инструктивная и посредническая подсистемы – это ядро и цитоплазма; у одноклеточных – внутренние структуры и оболочка; у многоклеточных – центральная и периферическая нервные систе-

мы; в сообществах организмов – это подсистемы с «групповой памятью» и подсистемы «быстрого реагирования».

Космические истоки образования биосферы. Вернадский был убеждённым сторонником космического характера жизни на Земле. Однако связь земной жизни с космосом Вернадский видел не в механическом «занесении» простейших форм живого на Землю (*гипотеза панспермии*), а в космических истоках организации первичной биосферы. Образование самой биосферы Вернадский связывал с организованностью космоса.

По мере образования земной коры из космической среды начинает извлекаться не только энергия, но и упорядоченность, то есть организация. Это проявляется в ритмичности, ориентированности, симметрии атмосферных, магнитосферных и ионосферных процессов. Качественно новая стадия формирования биосферы начинается с образования гидросферы – мирового океана. Гидросфера представляет собой гетерогенную неравновесную систему, а именно неравновесность (как показали ещё в 20-х – 30-х гг. XX в. известные биологи Э.С. Бауэр и А.Г. Гурвич) является основным свойством живой материи. Первобытная гидросфера активировалась корпускулярными и электромагнитными излучениями Солнца, космическими лучами, грозowymi разрядами, вулканической деятельностью. В результате она обрела чувствительность к слабым космическим электромагнитным излучениям. По-видимому, эти излучения явились носителями информации о пространственно-временной структуре космоса, воспринимая и накапливая которую, гидросфера образовала систему первичной жизни. Отмеченное выше подобие структур живой природы, а также согласованность биологических ритмов и циклов свидетельствуют в пользу того, что при своём возникновении и развитии биосфера моделировала организацию Космоса.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
КО ВТОРОМУ РАЗДЕЛУ

1. *Вайнберг С.* Первые три минуты. М.: Энергоиздат, 1981.
2. *Вернадский В.И.* Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М.: Наука, 1975.
3. *Григорьев В.И., Мякишев Г.Я.* Силы в природе. М.: Наука, 1988.
4. *Дэвис П.* Пространство и время в современной картине Вселенной. М.: Мир, 1979.
5. *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М.: Мир, 1989.
6. *Завельский Ф.С.* Время и его измерение. М.: Наука, 1977.
7. *Зимин А.И.* Концепции современного естествознания: вопросы и ответы. М.: ИД «Юриспруденция», 2007.
8. *Камшилов М.М.* Эволюция биосферы. М.: Наука, 1974.
9. *Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.* Синергетика и прогнозы будущего. М.: УРСС, 2003.
10. *Капра Ф.* Дао физики. СПб.: ОРИС, 1994.
11. *Моисеев Н.Н.* Идеи естествознания и общественные науки. М.: ВЦ РАН. 1991.
12. *Пантин В.И.* Циклы и ритмы истории. Рязань: Аракс, 1996.
13. *Пахомов Б.Я.* Становление физической картины мира. М., 1985.
14. *Пресман А.С.* Идеи В.И. Вернадского в современной биологии. М.: Знание, 1976.
15. *Пригожин И.Р.* Конец определённости. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 1999.
16. *Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Мир, 1986.
17. *Силк Дж.* Большой взрыв. М.: Мир, 1982.
18. *Урманцев Ю.А.* Симметрия природы и природа симметрии. М.: Мысль, 1974.
19. *Хокинг Ст.* Краткая история времени. СПб.: Амфора, 2007.
20. *Чернин А.Д.* Физика времени. М.: Наука, 1987.
21. *Шкловский И.С.* Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1987.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Раздел 1. Краткая история естествознания от эпохи ранних цивилизаций до конца XIX в. | 4 |
| <i>Тема 1:</i> Наука античного мира | 5 |
| <i>Тема 2:</i> Противостояние науки и религии в Средние века и в эпоху Возрождения | 28 |
| <i>Тема 3:</i> Истоки классического естествознания | 42 |
| <i>Тема 4:</i> Классический этап естествознания | 61 |
| Заключение | 76 |
| <i>Список рекомендуемой литературы к первому разделу</i> | 77 |
| Раздел 2. Фундаментальные идеи естествознания XX века | 78 |
| <i>Тема 5:</i> Крушение механистической картины мира. Микро-, макро- и мегамиры. Структурно-масштабная иерархия | 79 |
| <i>Тема 6:</i> Элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия | 87 |
| <i>Тема 7:</i> Квантовая механика – аппарат исследования микромира | 95 |
| <i>Тема 8:</i> Теория относительности Эйнштейна | 103 |
| <i>Тема 9:</i> Космологические модели Вселенной | 113 |
| <i>Тема 10:</i> Жизнь как космический феномен | 119 |
| <i>Список рекомендуемой литературы ко второму разделу</i> | 131 |

Научное издание

*Розен Виктор Владимирович,
доктор физико-математических наук, профессор*

СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕЙ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Монография

Подписано в печать 12.05.2010. Формат
Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Объем Усл. печ. л. 6,25. Тираж 100 экз. Заказ .

Типография ЦВП «Саратовский источник».
г. Саратов, ул. Университетская, 42, к. 106.
т. 52-05-93

Отпечатано с готового оригинал-макета

Издательство «Саратовский источник»
410600, г. Саратов, ул. Университетская, 42, к. 106.