

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

В. В. Розен

СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕЙ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

КОМПЕНДИУМ

Допущено Учебно-методическим объединением
по направлениям педагогического образования
Министерства образования и науки РФ в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 050200
«Физико-математическое образование»

Саратов
Издательство Саратовского университета
2011

УДК 5(09) (075.8)
ББК 20гя73
Р64

На обложке фото «Восход Солнца над Тихим океаном»

Розен, В. В.

Р64 Становление идей современного естествознания. Компендиум : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по направлению 050200 «Физико-математическое образование» / В. В. Розен. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. – 404 с. : ил.
ISBN 978-5-292-04084-2

Пособие представляет собой сжатое суммарное изложение (компендиум) важнейших концепций современного естествознания, данных в процессе их становления. Прослеживаются особенности развития научного знания в различные периоды истории: эпоху Античности, Средние века, эпоху Возрождения, Новое время. Затрагиваются фундаментальные идеи и некоторые аспекты методологии естествознания XX века. Особое внимание уделено проблемам происхождения и развития жизни, а также эволюции человека. Книга полностью покрывает программу курса «Концепции современного естествознания», а также может быть использована как учебное пособие по курсам «История и методология математики», «Математика в мире культуры».

Для студентов как естественнонаучных, так и гуманитарных направлений и специальностей. Книга может быть использована для самообразования.

Рекомендуют к печати:

кафедра геометрии механико-математического факультета
Саратовского государственного университета
доктор физико-математических наук, профессор *О. Г. Боков*
(Саратовский государственный аграрный университет)
доктор физико-математических наук, профессор *Д. А. Бредихин*
(Саратовский государственный технический университет)

*Работа издана по тематическому плану 2011 года
(утвержден на Ученом совете Саратовского государственного университета,
протокол № 9 от 6 сентября 2011 года)*

УДК 5(09) (075.8)
ББК 20гя73

Работа издана в авторской редакции

ISBN 978-5-292-04084-2

© Розен В. В., 2011
© Саратовский государственный
университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
-------------------	---

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

Краткая история естествознания от эпохи ранних цивилизаций до конца XIX века

Тема 1. Характер знаний и представлений о мире в эпоху ранних цивилизаций	9
Тема 2. Взгляд на мир в эпоху Античности	18
Тема 3. Противостояние науки и религии в Средние века и в эпоху Возрождения	38
Тема 4. Истоки классического естествознания	54
Тема 5. Классический этап естествознания	70
<i>Список литературы к первому разделу</i>	83

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

Становление современной физической картины мира

Тема 6. Начало крушения механистической картины мира	87
Тема 7. Квантовая механика – аппарат исследования микромира	90
Тема 8. Специальная теория относительности	99
Тема 9. Общая теория относительности	110
Тема 10. Элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия	118
Тема 11. Концепции самоорганизации. Синергетика	127
Тема 12. Научная картина мира	135
<i>Список литературы ко второму разделу</i>	144

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

Современные представления о происхождении, структуре и эволюции Вселенной

Тема 13. Общая картина Вселенной	147
Тема 14. Жизнь звёзд во Вселенной	156
Тема 15. Космологические модели Вселенной	166
Тема 16. Конечна или бесконечна Вселенная?	172
Тема 17. Большой взрыв и дальнейшая эволюция Вселенной	179
<i>Список литературы к третьему разделу</i>	189

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

Земля – среда обитания живой материи

Тема 18. Строение Земли. Геохронология	193
Тема 19. Геологическая история жизни на Земле	210
Тема 20. Происхождение и эволюция человека	221
Тема 21. Экология – наука о взаимодействиях экосистем	237
Тема 22. Человек и биосфера	247
<i>Список литературы к четвертому разделу</i>	261

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

**Современные концепции происхождения,
развития и сущности жизни**

Тема 23. Планетарные предпосылки зарождения и развития жизни	265
Тема 24. Жизнь как космический феномен	274
Тема 25. Концепции возникновения жизни на Земле	281
Тема 26. Основные этапы биохимической эволюции. Зарождение жизни	289
Тема 27. Эволюция жизни	299
Тема 28. Структурные уровни живой материи	311
Тема 29. Концепции сущности жизни	319
<i>Список литературы к пятому разделу</i>	330

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

Методологические аспекты современного естествознания

Тема 30. Наука в контексте культуры	333
Тема 31. Системно-структурная методология научного знания	345
Тема 32. Математика и действительный мир	364
Тема 33. Математика и естествознание	376
Тема 34. Проблема познания мира. Можно ли познать бесконечное?	389
<i>Список литературы к шестому разделу</i>	402

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2004 г. в издательстве «Айрис Пресс» вышло учебное пособие автора [1]. Хотя работа предназначалась в качестве пособия по одноименному курсу, ее прочитали не только студенты, но и люди, получившие высшее образование много лет назад. Эти читатели (среди которых были математики, физики, химики, биологи, экономисты, филологи, философы) встретили книгу с интересом. Не в последнюю очередь это объясняется тем, что курс концепций современного естествознания был введен в учебные планы специальностей высшего образования лишь сравнительно недавно.

Все это навело автора на мысль о написании книги, затрагивающей широкий круг вопросов современного естествознания, которую можно было бы использовать не только как учебное пособие, но и для самообразования. По замыслу такая книга при сравнительно небольшом объеме должна быть сосредоточена на важнейших концепциях современного естествознания, обладать строгостью учебника и, вместе с тем, быть лишена детализаций, представляющих интерес лишь для узких специалистов. Задача состояла не столько в ознакомлении читателя с достижениями естественных наук, сколько в том, чтобы способствовать формированию у него современной целостной картины мира. 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 открытий возможно только 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 общекультурным контекстом соответствующих эпох. Исходя из сказанного, в предлагаемую книгу включены следующие ключевые проблемы естествознания:

- *формирование естественнонаучной картины мира;*
- *концепции современной физики;*
- *особенности строения и эволюции Вселенной;*
- *происхождение и геологическая история Земли;*
- *концепции происхождения и сущности жизни;*
- *проблемы происхождения и эволюции человека;*
- *современные проблемы экологии;*
- *естествознание в контексте культуры.*

При окончательном отборе тем, составляющих основное содержание книги, автором были учтены данные опроса ученых, проведенного журналом *New Scientist*, в котором было предложено указать наиболее значимые идеи человечества (см. газету «Санкт-Петербургские ведомости». 2005. № 189). Среди самых важных идей были названы: идея Большого взрыва; идея эволюции более сложных форм из простейших; квантовая механика; *Megascience* – всеобщая наука, систематизирующая знания о мире; теория относительности Эйнштейна; изменения климата; тектоника.

При изложении материала автор стремился свести к минимуму как специальную терминологию, так и математическую символику. Дополнительный материал (касающийся специальных вопросов, исторических деталей, а также биографий выдающихся ученых), выделен петитом. Особое внимание уделено проблемам, связанным с происхождением и развитием жизни, при этом акцент сделан на системно-кибернетических аспектах. Наконец, следует подчеркнуть, что центральной идеей современного естествознания является идея эволюции. Эволюционирует все: сама Вселенная, галактики, звезды, Земля, жизнь, человек. Прослеживание этой эволюции – одна из основных задач данной работы.

Несколько замечаний о структуре книги. В первом разделе дан краткий обзор развития естественнонаучных представлений о мире с древнейших времен до конца XIX века – эпохи завершения классического этапа естествознания и создания механистической картины мира. Второй раздел посвящен изложению физических концепций, которые привели к неклассическому естествознанию и становлению современной научной картины мира. В третьем разделе дается краткое изложение современных представлений о происхождении, структуре и эволюции Вселенной, которые сложились во второй половине XX века на базе успехов наблюдательной астрономии и космологии. Четвертый раздел посвящен наукам о Земле – в нем систематизирован фактический материал и важнейшие представления таких наук, как геология, биология, экология. Пятый раздел затрагивает проблемы теоретического характера, касающиеся современных взглядов на развитие и сущность жизни. При этом вопросы, относящиеся к биологии и имеющие описательный характер, отнесены в четвертый раздел, а вопросы теоретического характера – в пятый. Наконец, последний раздел работы посвящен методологическим аспектам естествознания. Здесь основное внимание уделено проблемам взаимоотношений естествознания и культуры. Первые два раздела в сокращенном виде опубликованы в работе автора [2].

Книга адресуется студентам как естественнонаучных, так и гуманитарных направлений и специальностей, а также читателям, интересующимся проблемами современного естествознания, его историей и становлением важнейших идей.

Раздел первый

**Краткая история естествознания
от эпохи ранних цивилизаций
до конца XIX века**

Тема 1. Характер знаний и представлений о мире в эпоху ранних цивилизаций

Основные вопросы:

- 1.1. Истоки культуры.*
- 1.2. Накопление знаний о природе под воздействием потребностей практики.*
- 1.3. Мировоззренческие стимулы. Представления о Вселенной и о развитии мира.*
- 1.4. Критерии научности знания. Характеристика типа знания в цивилизациях Древнего Востока.*
- 1.5. Зарождение научных представлений о мире в Древней Греции.*

1.1. Истоки культуры

Развитие культуры, а также научных представлений о мире происходит вместе с развитием цивилизации. Становление первых цивилизаций приходится на IV–III тысячелетия до н. э., когда заканчивается каменный век и начинается век металлов. Именно в этот период в долинах великих рек – Нила, Тигра и Евфрата, Инда и Ганга, Янцзы и Хуанхэ формируются первые цивилизации. Основные центры цивилизации Древнего мира сложились на Востоке – к ним относятся Египет, страны Месопотамии, Индия и Китай.

Важнейшие для людей того времени предметы труда и быта, сделанные из меди, а впоследствии – из бронзы (сплава меди и олова) были гораздо более совершенными, чем сделанные из камня. Кроме того, из металла можно изготовить такие предметы, которые невозможно сделать из камня. Внедрение металлических орудий труда привело к значительному скачку в уровне развития производительных сил. Однако ввиду примитивности тогдашней металлургии и сравнительной редкости месторождений меди и олова еще длительное время камень как материал для изготовления орудий труда играл значительную роль. И только железо окончательно вытеснило камень. Это произошло в начале I тыс. до н.э. К тому времени 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 культуры явились изобретение письменности, а также появление счета и введение понятия числа. Заслуга создания письменности принадлежит древнему народу – шумерам, жившим в южной части Месопотамии на территории современного Ирака. В 3100 г. до н.э. шумеры первые 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»).

Скачок в понимании числовых величин и пространственных отношений наступил в эпоху неолита, когда произошел переход от пассивного собирания пищи к ее производству. Неолитические деревни вели между собой обмен произведенной продукцией (историки прослеживают торговые связи между поселениями, удаленными друг от друга на десятки и даже сотни километров). Появились зачатки коммерческой деятельности. В значительной мере ее стимулировало открытие техники выплавки меди и изготовление сначала медных, а затем бронзовых орудий и оружия.

Люди неолита уже обладали развитым чувством геометрической формы – оно обнаруживается в наскальных рисунках, предметах быта, посуде, статуэтках, созданных в ту эпоху. Обжиг и раскраска глиняных сосудов, изготовление циновок, корзин, тканей, обработка металлов вырабатывали представления о плоскостных и пространственных отношениях. Изготовление орнаментов способствовало формированию понятий равенства, подобия и различных видов симметрий геометрических фигур. На стенах пещер Франции, Испании и других стран обнаружены исполненные свыше 10 тыс. лет назад изображения животных. Уже в те времена появились элементы театрального искусства, запечатленные в наскальных изображениях (например, один из членов племени изображал животное, кото-

рое преследовали другие члены племени). К этому же периоду относятся найденные на территории разных стран украшения из бивней мамонта, костей и камней, содержащие явно выраженный «числовой орнамент», состоящий из нескольких сотен черточек, нарезок или ямок с отчетливой группировкой по 7 или по 14. В этих произведениях искусства большое значение придавалось магическим фигурам, таким, как пятиконечная звезда, треугольник, круг, крест, свастика, а также магическим числам [3]. Интересно отметить, что на первых этапах развития искусства счета каждое число относилось к определенному типу предметов (например, «четыре овцы» писалось иначе, чем «четыре меры зерна»). Разные системы мер существовали обособленно – отдельно 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.

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.

1.2. Накопление знаний о природе под воздействием потребностей практики

Одной из древнейших наук является астрономия. Считается, что астрономические наблюдения начались в III тыс. до новой эры. Уже в конце II тыс. до новой эры 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 (так называемые *зиккураты*), на которых приносились жертвы, – 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, со-

ставлялись таблицы движений планет. Уже в 1800 г. до н.э. в Вавилоне существовал обширный каталог звезд, а в VIII в. до н.э. была создана постоянная астрономическая служба. Потребность в астрономических знаниях вызывалась практическими нуждами – необходимостью предвидеть время разлива рек, наступление жары или сезона дождей (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.

Потребности практики стимулировали появление и развитие математики. Дошедшие до нас исторические памятники (египетские папирусы, глиняные таблички Древнего Вавилона) свидетельствуют, что в этих государствах уже за 20 веков до новой эры начали складываться математические приемы решения задач. Так, во II тысячелетии до н.э. вавилонские писцы 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.

К XIV в. до н.э. восходят математические познания китайцев. Имеются сведения о наличии в истории математики Древнего Китая иероглифической системы счета, вспомогательных счетных устройств и других математических приборов (например, счетной доски для оперирования большими числами, а также циркуля и линейки).

К VIII–VII вв. до н.э. относят написанные на санскрите религиозные книги Древней Индии – сутры и веды. Вместе с тем, они являются памятниками математической культуры индийцев. Например, в них содержатся геометрические построения, составляющие важную часть ритуалов при постройке культовых сооружений – храмов, алтарей и т.п. Интересно то обстоятельство, что на ранних ступенях развития культуры математические познания разных народов, даже не общавшихся друг с другом, поразительно близки между собой как по форме, так и по содержанию. Например, в большинстве древневосточных цивилизаций (Египет, Вавилон, Индия, Китай) были известны формулировки теоремы Пифагора, а правила вычисления площадей и объемов в Древнем Вавилоне и в Древнем Египте весьма похожи на соответствующие правила Древнего Китая [4].

Подчеркнем еще раз, что развитие математики, как и развитие астрономии, 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. И только в Древней Греции был сделан принципиальный шаг – математика стала формироваться как основанная на логике дедуктивная наука.

Развитие географических познаний во многом было связано с морскими плаваниями и экспедициями. Так, египтяне еще в период Древнего царства (III тысячелетие до н. э.) плавали вдоль восточного берега Средиземного моря, а также по Красному морю, организовывали экспедиции на Восток для поиска слоновой кости, драгоценных камней, благовонных смол и растений. Наиболее древние картографические изображения Земли появились в Египте и Вавилонии в III тыс. до н. э. В VII в. до н. э. в Месопотамии карты изготовлялись на глиняных табличках.

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».)

В заключение необходимо отметить, что произошедшее в эпоху ранних цивилизаций накопление познаний и формирование научных представлений о мире стало возможным лишь благодаря росту производительности труда, который привел к социальному расслоению общества. Чтобы позволить хотя бы небольшой группе людей посвятить свое время умственным занятиям, общество должно было достичь сравнительно высокого уровня развития производства, достаточного для создания некоторого излишка материальных благ.

1.3. Мировоззренческие стимулы. Представления о Вселенной и о развитии мира

Наряду с практической необходимостью, развитие представлений о мире направлялось мировоззренческими стимулами. Вопрос о том, что представляет собой окружающий мир, волновал людей с незапамятных времён, при этом недостаток знаний возмещался фантазией. Научные познания эпохи первых цивилизаций причудливым образом сочетались с мифами, сказками, религиозными верованиями.

Само понятие мира (Вселенной) постоянно видоизменялось, расширялось и углублялось. Так, для первобытного племени Вселенная отождествлялась со средой его обитания, то есть представляла собой участок суши, ограниченный, как правило, морем, лесом или горами, а также включала в себя небо и наблюдаемые небесные светила. В древности люди воспринимали Землю как плоскую поверхность («земная твердь»), небо – как купол, к которому прикреплены звёзды, а Солнце и Луна помещались под этим куполом. Расстояния до звёзд, Солнца и Луны мерялись земными мерками. По представлениям древних вавилонян, небесные светила являются ликами богов, которые наблюдают за всем происходящим на Земле и влияют на все земные события.

В примитивных культурах отсутствовало абстрактное понятие времени. В сознании первобытного человека время выступало не в качестве координатной оси, а в качестве таинственной силы, управляющей миром. Древним египтянам время представлялось текущим лишь в повседневной жизни, а за ее порогом – чем-то неизменным, неподвижным и вечным (символом чего служили пирамиды). В культурах Древнего Востока время истолковывалось как постоянно повторяющийся круговорот событий (символ такого понимания времени – колесо). Греки отождествляли время с могущественным богом Кроносом, а победа его сына Зевса над своим отцом интерпретировалась как победа бессмертных богов над временем.

Уже в эпоху ранних цивилизаций возникает вопрос о рождении мира. По воззрениям шумеров некогда вместо Вселенной был *хаос* – бесконечная водная бездна. Эта идея была унаследована цивилизациями Древнего Вавилона, Египта, Индии. В вавилонской мифологии мир создается под действием упорядочивающих сил, которые побеждают хаос. Эти представления о рождении мира затем переходят в древнегреческую космогонию, где наряду с понятием хаоса (беспорядка) возникает понятие *космоса* (порядка, красоты). Идея космоса есть, в сущности, целое миропонимание. Это представление о мире как упорядоченной и завершенной в себе структуре, которая не сводится к простой сумме отдельных элементов – Неба, Земли, Солнца, Луны и прочих частей Вселенной, а есть целостное единство, подобное единству живого существа.

В целом для первобытных людей их представления об окружающем мире и система восприятия мира носили мифологический характер. Первые попытки приведения в систему разнообразных и противоречивых мифологических представлений древних греков о мироздании сделаны в эпических поэмах Гомера и Гесиода (VIII–VII вв. до н.э.).

- В гомеровских «Илиаде» и «Одиссее» мир представлен состоящим из двух половин – верхней (светлой) и нижней (сумрачной). Живые люди обитают на поверхности Земли, выше плоскости, разделяющей мир на две части. На таком же расстоянии от этой плоскости вниз, в глубинах Земли, находится царство мертвых – Аид. Верхняя область неба, окаймляющая гомеровский мир, состоит

из твердого металла (железа или меди) и служит местопребыванием олимпийских богов. Так же окаймлен и Тартар – наиболее глубоко расположенная область мира, ниже которой уже ничего нет. Земной диск окружен огромной кругообразной рекой – Океаном, у которой нет ни истоков, ни устья, поскольку он замыкается сам на себя. Солнце, Луна и другие небесные светила опускаются при своем заходе в воды Океана, а при восходе выходят из них с другой стороны. Гомеровский мир в целом статичен и представляет собой как бы огромное жилище для людей и богов.

В отличие от Гомера, Гесиод в своей «Теогонии» рисует грандиозную картину космогонического процесса, причем развитие мира трактуется им в форме смены и борьбы различных поколений богов.

В гомеровской Греции господствующей формой общественного сознания была мифология. Именно из ее недр вышли и философия, и наука. Переход от мифологических представлений к научным получил в дальнейшем образное название: «от мифа к логосу».

1.4. Критерии научности знания. Характер типа знания в цивилизациях Древнего Востока

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; далее – выдвижение гипотез, общих положений, нахождение объяснений и, наконец, создание теорий, объясняющих эти факты и предсказывающих новые. Основные критерии научности знания таковы.

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

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. Здесь также главную роль играет *рацио*. Все это приводит в итоге к последовательному и рациональному объяснению природы, которое должно быть согласовано с имеющимися фактами.

Доказательность. Новые положения не просто «присоединяются» к уже имеющимся. Они должны быть, во-первых, аргументированы, обоснованы в рамках существующих логических канонов, а во-вторых, согласованы, соотнесены с принятыми ранее положениями. Доказательность есть важнейшая черта научного знания, отличающая его, например, от религии.

Фундаментальность. Чтобы стать научным, знание должно «оторваться» от своей практической привязки и приобрести теоретический характер. Знание, «зацикленное» на решении практических задач, не может породить ни математику, ни логику, ни философию, ни космологию.

Итак, основные черты научного знания – системность, рациональность, доказательность, фундаментальность.

Рассматривая под этим углом зрения знание Древнего Востока, нетрудно придти к выводу, что в целом оно не удовлетворяет сформулированным выше критериям научности. Действительно, большой фактический материал, накопленный при наблюдениях 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. Традиционный метод исследования природы сводился к ее созерцанию и регистрации увиденного. Восточный тип знания представляет собой не рациональное объяснение, основанное на размышлении, а «акт озарения», порожденный интуицией или сверхчувственным восприятием. 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 форме 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. 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 имели донаучный характер.*

Чтобы знания превратились в науку, нужен качественный скачок. Ни в Древнем Египте, ни в Древнем Вавилоне этот скачок так и не произошел. 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.

1.5. Зарождение научных представлений о мире в Древней Греции

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 – греческие колонии в Малой Азии.

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 являются 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. Греческие философы первыми поняли, что мир представляет собой не хаотическое нагромождение, а целостное единство. В нём действуют определённые законы, которые можно постичь разумом. Таким образом, только с древних греков начинается эпоха рационального объяснения и познания мира.

- Итак, уходящий в седую древность огромный по продолжительности процесс постепенного накапливания знаний о мире привел к формированию основ научного знания, а также к созданию определенной методологии познания природы. Как указывалось выше, 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.

Возникает естественный вопрос – почему в государствах древнего Востока не произошел скачок, превративший сумму накопленных знаний в науку? Этот вопрос является в настоящее время дискуссионным. Приведем здесь точку зрения отечественного ученого профессора Петербургского университета М. С. Кагана. В его работах строится оригинальная концепция культуры как саморазвивающейся системы. В них отмечается, что для первобытной культуры человеческого общества стихийный поиск оптимальной модели нового образа жизни был ограничен спектром объективных возможностей, которые определялись структурой практической деятельности первобытных племен. Эта деятельность включала в себя три основных направления: собирательство, охота, ремесло. В зависимости от условий жизни того или иного племени одно из указанных трех направлений становилось доминирующим, системообразующим. В истории человечества при переходе к новому социокультурному состоянию были использованы все три указанные возможности. В результате из первобытности выросли три типа культуры.

1. Культура скотоводческих племен (главным образом, в Азии). Эти племена вели кочевую жизнь в поисках необходимых пастбищ. Некоторые из них передвигались на запад, вступая в схватки с обитавшим там населением. Этот путь оказался тупиковой формой, и кочевники рано или поздно переходили к оседлому образу жизни. Культура кочевых племен просуществовала до настоящего времени, застыв на уровне, близком к первобытному. У них продолжают существовать примитивные обычаи и формы социальной организации, архаичная мифология, тотемистические культы животных, бесписьменное фольклорное искусство.

2. Культура земледельческих обществ (наиболее ранние из них сложились на плодородных землях вблизи великих рек на территориях Египта, Ближнего Востока, Индии и Китая). Там образовались могущественные государства, на территориях которых проводились крупномасштабные мелиоративные и оросительные работы. По сравнению с первым, аграрный вариант открывает больше возможностей для совершенствования жизни. Он требует иных форм организации общества и иного отношения к природе. Однако культура аграрного типа лишена внутренних стимулов развития: сложившись, она склонна оберегать себя от всякого развития. Повышение эффективности земледельческого труда зависит не столько от него самого, сколько от развития ремесла и, в дальнейшем — от научно-технического прогресса. Поэтому земледельческая культура остается культурой традиционной.

3. Культура ремесленного производства, которая сложилась у древних греков и древних римлян. Этот тип культуры привел к формированию городов, где для него оказались наиболее благоприятные условия. Именно в городской среде создавалась техника, развивалась архитектура, система образования и различные формы искусства. Дифференциация форм культуры сопровождается разрушением мифологического сознания и созданием философии. Все это привело к тому, что «в эстафете культурного развития человечества жезл был передан городу, и передан безвозвратно».

Тема 2. Взгляд на мир в эпоху Античности

Основные вопросы:

2.1. Ионийский период. Милетская школа. Пифагор.

2.2. Классический (афинский) период. Академия Платона. Система мира Аристотеля. Возникновение атомистического учения.

2.3. Эллинистический (александрийский) период.

Развитие геометрии, механики, астрономии.

2.4. Греко-римский период. Геоцентрическая система Птолемея. Научное знание и культура Древнего Рима.

2.5. Общая характеристика науки и культуры эпохи Античности.

2.1. Ионийский период. Милетская школа. Пифагор

Цивилизации Древней Греции и Древнего Рима принято объединять термином «Античность». Античная культура оказала основополагающее влияние на дальнейшее развитие духовной культуры человечества. Одним из важнейших достижений Античности явилось зарождение научного

знания. Античную историю принято делить на четыре периода (названия которых даны в соответствии с географическим расположением центров культуры): *ионийский*, *афинский*, *александрийский*, *древнеримский*. Дадим краткую характеристику этих периодов.

Ионийский период охватывает 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 первовеществе 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 ввел 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. Пифагорейцы провозгласили, что божественным началом и сущностью мира является число. 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).

2.2. Классический (афинский) период. Академия Платона. Система мира Аристотеля. Возникновение атомистического учения

Афинский (или классический) период датируется с 480 по 330 гг. до н.э. и хронологически совпадает со временем 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. Он был первым мыслителем, увидевшим разницу между словом и понятием. Сократ осознал, что правильное мышление нуждается в точных определениях понятий. 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 поражал современников своей мудростью, неожиданностью логических ходов и поворотов мысли. 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* – В. Р.). Первое решение этой задачи было дано учеником Платона – Евдоксом (406–355 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 целого 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 разделения космоса на две области – *до* первой небесной 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 также 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.

2.3. Эллинистический (александрийский) период.

Развитие геометрии, механики, астрономии

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 Птолемах 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 богатейшая 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 в Древнем Вавилоне. Ученые Александрии также были связаны с афинским Ликеем, основанным Аристотелем (например, последний выдающийся руководитель Ликеев 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 (следует заметить, что 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. Это произведение стало образцом применения логики и математики в науках о природе.

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.

- 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.

Основополагающим трудом по гидростатике явилось сочинение Архимеда «О плавающих телах». В нем сформулирован знаменитый принцип, который известен ныне под названием *закона Архимеда*.

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. Обратно, 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 гг. 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 вычисления 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.).

Знаменитый опыт Эратосфена по определению размеров Земного шара состоял в следующем [5]. Он заметил, что в полдень в день летнего солнцестояния в Сиене (ныне Асуан) предметы не отбрасывают никакой тени, а в Александрии стержень солнечных часов отбрасывает тень, длина которой составляет $\frac{1}{8}$ часть длины стержня. Отсюда легко найти угол между вертикалью и направлением солнечных лучей на широте Александрии: этот угол составляет около $\frac{1}{50}$ части окружности ($\alpha = \frac{l}{8} : 2\pi l \approx \frac{1}{50}$).

Такой же угол составляют земные радиусы, соединяющие центр Земли с Александрией (A) и Сиеной (C), поэтому дуга между ними составляет

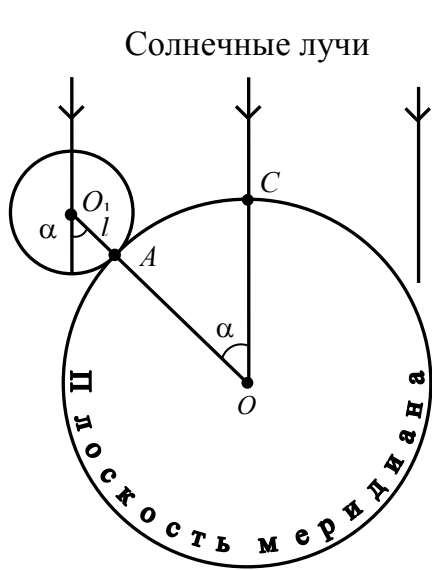


Рис. 1

$1/50$ часть земного меридиана (см. рис. 1). Теперь для нахождения длины окружности земного меридиана достаточно знать расстояние от Александрии до Сиены (это расстояние Эратосфен оценил по времени, которое затрачивали царские гонцы на путешествие между этими городами; в греческих единицах длины оно составляло 5 тыс. стадий).

Итак, длина земного меридиана оказалась равной $50 \cdot 5 = 250$ тыс. стадий (около 40 тыс. км). Хотя окончательный результат оказался весьма приблизительным (Эратосфен считал, что Александрия и Сиена находятся на одном меридиане, что впоследствии оказалось ошибочным), сам факт измерения размеров

Земли и способ его получения (основанный на элементарной геометрии) имел огромное значение.

2.4. Греко-римский период. Геоцентрическая система Птолемея. Научное знание и культура Древнего Рима

Хронологические границы древнеримского периода 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, а 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 (см. [5]). «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 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. «Нерегулярности» состояли 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».

Система Птолемея вошла в астрономию под названием *геоцентрическая система мира*: в центре Вселенной находится Земля, вокруг которой вращается Солнце, Луна и все планеты. Однако круговые орбиты проти-

воречили многовековым данным астрономии. Схема движения небесных тел, предложенная Птолемеем, была более сложной (рис. 2): большой круг – Деферент, O – центр круга, E – Земля, Q – условная точка, называемая эквант, M – центр эпицикла, P – планета, $|EO| = |OQ|$.

Основные положения птолемеевой системы таковы:

1) каждая планета, а также Солнце и Луна, движется равномерно по эпициклу, центр которого движется по своему деференту;

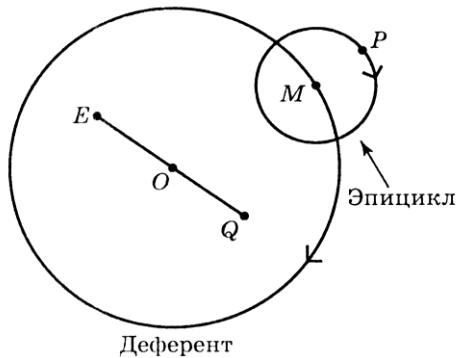


Рис. 2

2) для каждой планеты (тогда их было известно пять: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн) направление движения по эпициклу совпадает с направлением движения центра эпицикла по деференту, а для Солнца и Луны эти направления противоположны;

3) равномерность движения центра эпицикла имеет место не относительно центра деферента (точки O), а относительно экванта (точки Q).

Равномерность движения центра эпицикла означает постоянство линейной скорости; таким образом, когда центр эпицикла находится ближе к экванту, угловая скорость его перемещения (а значит, и видимое его перемещения на небесной сфере) будет больше.

Следует отметить, что идею объяснения сложного движения планет как результата нескольких круговых движений Птолемей заимствовал у другого великого астронома древности – Гиппарха, жившего во II в. до н.э. Однако нахождение всех «параметров модели» было сложнейшей задачей, блестяще решенной Птолемеем. Теория Птолемея позволяла предсказывать положение небесных тел с точностью, соизмеримой с точностью измерительных приборов того времени. 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).

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.

2.5. Общая характеристика науки и культуры эпохи Античности

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

А) 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.

В) 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).

С) Каковы причины кризиса античной науки?

Д) В чем состоит вклад Античности в современную науку и культуру?

Дадим краткие ответы на поставленные вопросы.

А) Причины зарождения науки в Древней Греции надо искать в особенностях ее общественно-политического устройства.

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 самостоя-

тельностью 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. 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 пользы, получали общественное одобрение. Заметим, что присущий древним грекам дух чистого соперничества, не преследующего никакой материальной выгоды (так называемая *агностика*), зародился в состязаниях, проводимых в честь богов. Разнообразные состязания в спорте, музыке, поэзии, в которых победитель должен проявить свои наивысшие качества, являлись важнейшим элементом древнегреческой культуры. В дальнейшем они охватили также сферы интеллектуального творчества: литературу, философию, науку. 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.

Таким образом, внимание, который древние греки уделяли математике и логике, объяснялось их стремлением к решению «сверхзадачи» – объяснению тайны устройства Вселенной и постижению гармонии мира. В подобных вопросах 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).

В) 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 [6]. 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. В чем же причины различий в концептуальных научных установках древних греков и древних римлян?

Древнегреческая и древнеримская цивилизации имели различное государственное устройство. Если Древняя Греция состояла из полисов – небольших независимых городов-государств, каждое из которых имело свою конституцию и обладало своими особенностями социальной и политической жизни, то Древний Рим – это огромное по своей территории сплоченное централизованное государство с едиными законами и правилами жизни. Такая структура древнеримского государства сложилась исторически: на протяжении нескольких столетий Рим вел завоевательные войны, постоянно расширяя 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. Все эти условия наложили определенный отпечаток на менталитет граждан Древнего Рима. Именно этим объясняется 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 приложе-

ниями 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 форумов, 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.

С) 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 [7]: «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 эксплуатируемых 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.

Важнейшей причиной, обусловившей широкое распространение христианства на территории Древнего Рима в течение I–III вв., был духовный кризис, который явился следствием экономического и политического кризиса и охватил все слои Римской империи. В покоренных Римом провинциях был разрушен прежний порядок, и население чувствовало себя там униженным и обездоленным. Усилились восстания рабов. Апатия и амора-

лизм охватили родовую римскую аристократию, оттесненную императорами от руководства страной. Греко-римские боги перестали пользоваться почетом, а римские жрецы стали мишенями для насмешек. Среди римлян в моду вошли мистика, магия, обращение к чужеземным культам. В таких условиях христианство быстро завоевывало популярность как религия, дающая утешение и надежду на спасение (см. [6]).

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.

D) Давая общую характеристику вклада Античности в формирование современной науки и культуры, необходимо подчеркнуть следующие положения.

1) *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 карти-

ну мира, в которой причины развития мира заключены в нем самом (хотя материя и ее движущее начало – форма – у него разделены).

2) *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.

3) *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 естествознания – 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 становлению 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.

4) Если деятельность древних греков, способствовала подъему духовной культуры, усилия римлян были направлены, главным образом, на развитие материальной культуры.

Искусство Древней Греции, как и философия, имеет тесные связи с мифологией и черпает из нее свои темы и сюжеты. Произведения искусства, по мере их совершенствования, приобретают собственную эстетическую ценность, определяемую уже не их культовым назначением, а художественными достоинствами. Постепенно искусство превращается в самостоятельную область культуры, направленную на удовлетворение эстетических потребностей людей. Происходит дифференциация искусства на различные виды: архитектура, скульптура, поэзия, драма, театр. Древнегреческое искусство в значительной мере предопределило развитие художественной культуры более поздних исторических эпох: именно в нем зародились классические архитектурные стили (дорический, ионический и коринфский ордера), каноны скульптурного изображения человеческого тела (Мирон, Фидий, Поликлет), образцы любовной лирики (Сапфо, Анакреонт), трагедии (Эсхил, Софокл, Эврипид), комедии (Аристофан). Из греческого языка взято и само слово *театр* (в буквальном переводе – *место для зрелищ*). Главными стимулами развития и совершенствования скульптуры, архитектуры, поэзии для древних греков служили идеи красоты, гармонии, соразмерности человека и космоса.

Римская Античность заимствует многие традиции греческой культуры. У римлян высокого уровня достигают ораторское искусство (Гай Гракх, Цицерон, Юлий Цезарь), художественная проза (Катулл, Гораций, Овидий). Римские архитекторы наследуют греческие ордерные формы, но придают им гораздо больший масштаб. Наиболее грандиозными являются общественные сооружения Древнего Рима: храмы, форумы, базилики, термы, акведуки, триумфальные арки, амфитеатры (некоторые из этих сооружений, например, Пантеон и Колизей сохранились до наших дней).

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 культуру 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 3. Противостояние науки и религии в Средние века и в эпоху Возрождения

Основные вопросы:

- 3.1. Духовная жизнь Европы в Средние века.*
- 3.2. Наука и культура в странах Востока.*
- 3.3. Западноевропейская наука и философия в Средние века.*
- 3.4. Эпоха Возрождения. Зарождение экспериментального естествознания. Гелиоцентрическая система Коперника.*

3.1. 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 противоречит 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 ка-

сается 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. В самом деле, возникшее в I в. христианство и позднее, в VI–VII вв., ислам давали для каждого человека ответы на кардинальные вопросы: о происхождении и устройстве мира, месте человека в этом мире, смысле жизни и т.п. Тем самым религии создавали в обществе определенное согласие, выступая в качестве стабилизирующего фактора. Помимо того, религия способствовала воспитанию нравственности, формированию идеалов добра и справедливости.

Церкви и монастыри обеспечивали необходимый уровень грамотности и образования. В монастырях создавались монастырские библиотеки, сохранявшие научное наследие. 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.

Начиная с VI в. при монастырях и церквях Западной Европы существовали школы, которые наряду с церковным, давали также светское образование. (Первоначально в него входили грамматика, риторика и диалектика, составляя так называемый «тривиум». Впоследствии к ним добавились арифметика, геометрия, астрономия и музыка, составлявшие «квадриум».) Возникшие в XII в. первые университеты использовали, по существу, ту же систему преподавания, которая сложилась в монастырских школах. Так, в Парижском университете имелось четыре факультета; наиболее многочисленным был общеобразовательный факультет, на котором изучалось семь «свободных искусств» (он назывался «младшим» или «артистическим» – от латинского слова «*ars*» – искусство). Кроме того, имелось три «старших» факультета – богословский, юридический и медицинский, на которые принимались лишь студенты, окончившие «младший» факультет.

Изменения в социально-экономической жизни, произошедшие в XI–XII вв. в ряде стран Западной Европы, получили отражение и в сфере идеологии. Именно в это время зарождается городская культура, в результате чего многовековая монополия католической церкви в области образования впервые за многие столетия оказалась нарушенной. По мере своего развития города испытывали все более возрастающую потребность в грамотных людях, умеющих оформлять всевозможные торговые сделки, ра-

ботать в органах городского самоуправления, составлять разнообразные документы. Эта потребность привела к созданию школ другого типа – частных школ, которые уже не содержались на средства церкви: преподаватели этих школ (магистры) жили за счет платы, взимаемой с учащихся. Самой известной из нецерковных школ Франции середины XII в. была школа крупного французского философа Петра Абеляра в Париже. Он преклонялся перед античной философией и в своих лекциях утверждал приоритет разума по отношению к вере и к церковным «авторитетам».

Значительную часть учащихся нецерковных школ составляли так называемые *ваганты* (от лат. *vagary* – бродить) – бродячие школяры. Бродя по всей Западной Европе вместе с поэтами, артистами, скоморохами, ваганты находились под их влиянием и вносили в школьную жизнь демократическую струю. В XII в. зарождается своеобразная поэзия вагантов, которой было свойственно сатирическое изображение католической церкви. В то же время ваганты отвергали лицемерный церковный аскетизм – учение католической церкви о презрении к плоти, отречении от жизненных благ, прославляющее радости не земной, а небесной жизни.

В XII–XIII вв. в Европе появляются рыцарские романы, романы о трагической любви, цикл романов о «святом Граале»; лирическая поэзия французского рыцарства достигает своего расцвета в поэзии трубадуров. Преобладающей темой в ней является изображение рыцарского служения «даме сердца», идеальной любви, ради которой рыцари подвергаются всевозможным опасностям. Характерным для творчества трубадуров является прославление земных радостей, отрицание церковной проповеди и ироническое отношение к церковным догматам.

Во второй половине XII столетия в Северной Франции возникает архитектура нового *готического стиля*. Определяющей чертой готической архитектуры является устремление зданий ввысь, достигавшееся при помощи остроконечных стрельчатых арок, заменивших собой полуциркульные сводчатые арки построек романского стиля. В отличие от соборов романского стиля, готические храмы не нуждались в тяжелых и толстых стенах – в них появились огромные окна и витражи, а каменная резьба, орнаменты и многочисленные статуи придавали им еще большую динамичность. Таковы великолепные готические соборы в Париже, Шартре, Амьене, Реймсе, Бурже, Страсбурге, Кельне, Милане, Бургосе и других городах Европы. Основная цель, которую преследовала католическая церковь при создании таких соборов, – внушение народным массам идеи о недостижимой высоте божества и ничтожестве человека. Однако эти сооружения, производившие огромное впечатление на современников, устремляли людей к Богу и, в то же время, способствовали прославлению создававших их архитекторов, скульпторов, художников.

3.2. 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), которого в европейской литературе обычно именуют Магомедом. Он призвал соотечественников отказаться от многобожия и верить только в одного Бога – Аллаха. В 622 г. Мухаммед с небольшой группой своих последователей поселился в городе Медина. С этого года начинается мусульманское летоисчисление. В Медине Мухаммед создал мусульманское войско, задачей которого было силой оружия доказать превосходство Аллаха над всеми остальными богами. Между Мединой и Меккой, где находилось одно из главных святилищ Аравии – храм над священным камнем Кааба – завязалась война. В 630 г. Мекка была покорена. В 632 г. под властью Медины оказался почти весь Аравийский полуостров.

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.

После смерти Мухаммеда его преемники – халифы – продолжали начатые им завоевания. Границы арабского мира стремительно расширялись. В IX веке в состав халифата входили, помимо Аравийского полуострова, также территории современного Ирана, Ирака, Сирии, Египта, большая часть Закавказья, Средней Азии, Северной Африки, Пиренейского полуострова; в этот период Арабский халифат по своим размерам превосходил Римскую империю. 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. Эпоха арабских завоеваний длилась до IX в. В X в. начинается 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. С X в. главную роль в распространении мусульманства начинают играть принявшие ислам тюркские племена – сельджуки и османы, а в X–XII вв. ислам утвердился в Средней Азии. Начинается период расцвета классической арабо-

мусульманской культуры, явившейся фундаментом культуры всего исламского мира. Мусульманская культура является многонациональной – ее творцами были не только арабы, но также персы, таджики, мавры, турки. Объединяющими элементами этой культуры явились ислам и арабский язык. В последующие века происходит экспансия ислама – как на Запад, так и на Восток. В XV в. на территории Византии создается Турецкая (Османская) империя, а в XVI в. на территории Индии возникает мусульманская империя Великих Моголов.

Развитию науки и философии в странах ислама в значительной степени способствовало уважение к личности ученого, вошедшее в традицию наряду с благоговением перед Кораном. И Мухаммед, и многие халифы проявляли значительную заботу о развитии просвещения. 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.

Развитие философской мысли в культуре ислама сопровождалось, как и в христианстве, противостоянием рационализма и мистицизма. Представители мусульманского рационализма, оставаясь в рамках ислама, использовали в качестве идейной основы классическую греческую философию, восходящую к Аристотелю. В тот период рационализм находил воплощение именно в трудах арабо-мусульманских философов, которые по своему роду занятий были врачами, астрономами, химиками, математиками; заметим, что западноевропейские философы Средневековья сплошь принадлежали к духовенству.

Мистическое направление находит наиболее отчетливое выражение в *суфизме*, который развивался под влиянием восточных религиозно-философских течений, а также идей Платона и его последователей. Для суфизма характерны идеи духовного самоуглубления, Божественного откровения, а также тайного оккультного знания, связанного с символикой различных геометрических фигур, букв, цифр, заклинаний [8].

- Аль Хорезми (787–850) – 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 опи-

сание 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. Выдвигая тезис о «двойственности истины», Ибн-Сина ставил философию выше религии. 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 переведившийся 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 гг.). 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. Однако несомненной заслугой арабской цивилизации является то, что именно она послужила мостом, связавшим Античность с европейской наукой Нового времени.

3.3. 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), 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.

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. В своих сочинениях схоласты старались утвердить положение о духовном, бестелесном характере Бога, но уже сама лексика этих произведений 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

событий ускоряется отделение ремесла от земледелия, усиливается развитие товарно-денежных отношений.

Через страны Востока европейцы познакомились с достижениями античной науки и культуры. В XII веке на латинский язык переводится главный труд Птолемея «Великое математическое построение...», 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 некоторыми 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», просуществовавшая 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.

Среди поздних схоластов наиболее известен У. Оккам (1285–1349), предложивший методологический принцип «бритвы Оккама»: «сущности не следует умножать без необходимости». В современной трактовке 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 ос-

нове 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) и Парижский (1150); 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 заочной 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). Наука XIII–XIV вв. концентрируется, главным образом, вокруг двух университетских центров – Парижского и Оксфордского.

Как же следует оценивать в целом Средневековый этап истории западноевропейской 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 изошренным 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 фундаментальных естественнонаучных 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.

3.4. 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. Расширение кругозора европейцев содействовало ослаблению авторитета церкви.

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.

Великие географические открытия имели также важные экономические последствия. Возросли связи Европы со странами Африки, Южной и Восточной Азии, впервые были установлены сношения с Америкой. Торговля приобрела мировой характер. Центр экономической жизни стал постепенно перемещаться из Средиземноморья на страны Атлантики. Итальянские города, через которые прежде осуществлялись связи Европы с Востоком, стали играть меньшую роль, начали возвышаться новые центры торговли: Лиссабон в Португалии, Севилья в Испании, Антверпен в Нидерландах. Все эти процессы способствовали также изменению локализации научного знания. Если в прежние столетия наука сосредотачивалась в странах Средиземного моря, то в эпоху Возрождения она начинает охватывать всю Западную Европу.

Произошедший в эту эпоху 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 лав-

ках», 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). Начинают разрабатываться научные основы картографии и создаваться более точные карты. Большой вклад в развитие картографии внес уроженец Фландрии Гергард Крамер (1512–1594), известный под латинизированным именем Меркатор.

Медицина постепенно освобождается от средневековых догм о «таинственных силах», под непрерывным влиянием которых якобы находится человек, и начинает изучение процессов, происходящих в человеческом организме. Параллельно с медициной развивается химия, увеличивается производство лекарств химическим способом. В связи с развитием горного дела растёт запас знаний по геологии и минералогии. 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. Это обстоятельство нашло отражение в искусстве того времени. Например, в греческом театре лица актеров были скрыты масками, так как зрителей совершенно не интересовали их переживания – персонажи были нужны лишь как воплощения замыслов богов. В Средние века литература была по преимуществу анонимной: это связано со средневековыми представления-

ми о том, что слово имеет божественную сущность. 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, позволяющий 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.

- Первые симптомы Ренессанса проявились в XIV столетии в Италии. Они отмечены такими именами, как Петрарка, Боккаччо, Джотто. В XV в. важнейшим центром Возрождения становится Флоренция, где создаются художественные коллекции дома Медичи, Платоновская академия, Лукрецианская библиотека. В Венеции, Риме, Милане и других итальянских городах появляются школы живописи, возникают кружки светски образованных людей, где обсуждаются идеи античной философии, проблемы морали, научного познания природы. Художники изучают пропорции человеческого тела, анатомию, линейную перспективу. В этот период творят выдающиеся скульпторы Донателло и Верроккьо, архитекторы Брунеллески и Альберти, живописцы Боттичелли и Беллини, возникает универсальный гений Леонардо да Винчи. Время с конца XV до середины XVI столетия («Высокий Ренессанс») отмечено шедеврами Рафаэля и Микеланджело. В эпоху расцвета итальянского Возрождения Италия становится культурным центром Европы. Итальянский язык превращается в язык королевских дворов и дворянских салонов. Италия поставляет всей Европе архитекторов и музыкантов, артистов и ювелиров.

Начало XVII в. считается временем угасания итальянского Возрождения. В этот период идеи Возрождения выходят за пределы Италии и развиваются в Германии, Испании, Нидерландах.

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*. С чисто геометрической точки зрения система Коперника отличается от системы Птолемея тем, что в центр деферента помещается не Земля, а Солнце, а Земля становится одной из планет, движущихся по своему эпциклу. В результате такой замены сложные петлеобразные движения пла-

нет 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 множествен-

ность 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 с Солнцем – в конечном итоге безразлично. Основное формальное достоинство гелиоцентрической системы – её простота, которая обусловлена 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 4. Истоки классического естествознания

Основные вопросы:

- 4.1. *Зарождение современной философии.*
Система натуральной философии Декарта. Рационализм.
- 4.2. *Формирование основ естествознания.*
Научные принципы Галилея.
- 4.3. *Опыты Торричелли, Паскаля, Герике, Бойля.*
- 4.4. *Законы Кеплера. Идея всеобщей гармонии.*
- 4.5. *Математические начала натуральной философии Ньютона.*
Представления Ньютона о механике небесного движения и о сотворении мира.
- 4.6. *Общая характеристика научного знания XVI–XVII веков.*

4.1. 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 predetermined 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, образован 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. 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 основоположников 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.

Одной из крупных фигур новой философии был Френсис Бэкон (1561–1626). Выросший в Англии – стране наиболее развитой торговли и промышленности, – Ф. Бэкон стал основоположником материалистической теории научного познания. 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. Важнейшей частью учения Бэкона является критика им схоластического метода, опирающегося на авторитет церкви и на логику Аристотеля, оторванную от реальности. Бэконом была разработана индуктивная логика, направленная на систематический анализ результатов опыта («Новый органон» – в противовес «Органону» Аристотеля). Большое значение Бэкон придавал «очищению разума от отягчающих идолов» – типичных заблуждений, вызываемых несовершенством обыденного мышления и толкованием природы на основе человеческих аналогий. К таковым относятся «идолы рода» – примешивание собственной природы к природе вещей; «идолы пещеры» – привычка смотреть на окружающий мир со своей узкой точки зрения; «идолы площади» – привычка опираться на ходячие представления; «идолы театра» – некритическое отношение к философским системам древности. Френсис 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 [9].

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). Еще один гений XVII в. – Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646–1716) – великий математик и философ, человек разнообразных дарований и интересов, 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».

Трудами этих выдающихся мыслителей в XVII в. формируется *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 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. В целом для философской мысли последующих веков характерно противостояние рационализма и иррационализма. Рационализм в широком смысле может быть определен как принцип рациональности процесса познания, включающего в себя чувственный опыт и объяснение экспериментальных данных на базе логики и математики. В то же время иррационализм провозглашает существование не поддающихся рациональному объяснению внечувственных и внеразумных форм познания, противопоставляя опыту и разуму инстинкт, мистическую интуицию,

сверхчувственное восприятие, контакт с «высшими силами» и т.п. Многие крупные ученые колебались между рационализмом и иррационализмом. Так, Блез Паскаль, один из выдающихся деятелей периода формирования современной науки, сделав ряд важных 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). 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.

Список ученых, известных своими выдающимися достижениями и в той или иной мере склонявшихся к мистике, весьма внушительен. Из крупных математиков XX в. к ним относятся Герман Вейль, Артур Стэнли Эддингтон, Александр Гротендик и многие другие [10].

4.2. Формирование основ естествознания. Научные принципы Галилея

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

- Галилей родился в 1564 г. – в том же году, что и У. Шекспир. В 1581 г. поступил в Пизанский университет для изучения медицины. Там он увлёкся математикой, механикой, физикой, читал труды Евклида и Аристотеля. С 1592 г. по 1610 г. Галилей занимался преподаванием на кафедре математики Падуанского университета. Именно эти годы оказались для него наиболее творческими. В это время он пришёл к своим законам движения и окончательно убедился в правильности теории Коперника.

Основные научные принципы, сформулированные Галилеем, таковы (см. [5]). 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 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 изошренными 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 возрастет. 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.

4.3. Опыты Торричелли, Паскаля, Герике, Бойля

Ни одно научное изобретение XVII в. (за исключением, быть может, телескопа) не вызывало столько интереса и удивления, как эксперименты с барометром 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 [11]. 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 поршневой насос не может поднять воду на высоту, превышающую 18 локтей; следовательно, пустота, образуемая под поршнем, уже не заполняется после этой границы.

Знаменитый опыт Торричелли по обнаружению атмосферного давления был поставлен в 1644 г. Стекланную трубку длиной около метра и запаянную с одного конца, наполнили 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 суб-

станцией, 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 Блез 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 пустотой описаны им в сочинении «Новые физико-механические опыты» (1660). 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.

4.4. 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 (см. [5]).

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 – каждая планета движется с постоянной скоростью, однако наблюдения опровергают это предположение.

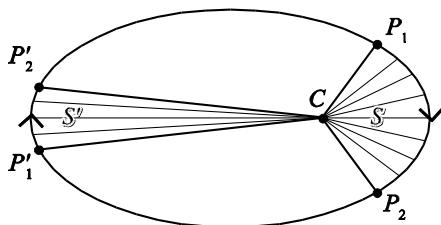


Рис. 3

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). Схематично этот закон изображен на рис. 3: C – Солнце, P_1, P_2 и P_1', P_2' – последовательные положения планеты через равные промежутки

времени. Площади криволинейных треугольников $\Delta P_1 P_2 C$ и $\Delta P'_1 P'_2 C$ равны между собой: $S' = S$.

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). Так как известно среднее расстояние от Земли до Солнца ($D \approx 150$ млн км) и период обращения Земли вокруг Солнца ($T = 1$ год), то известна и постоянная K . Следовательно, для любой планеты Солнечной системы, зная её среднее расстояние от Солнца, можно найти период ее обращения вокруг Солнца.

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 «как им заблагорассудится».

Кеплер исходил из положения, что мир создан Богом в соответствии с простым планом, который мог иметь математический характер. При этом Кеплер отчетливо сознавал, что теория должна находиться в соответствии с наблюдениями (еще в 1600 г., когда Кеплер был ассистентом знаменитого астронома Тихо Браге, он 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.

4.5. Математические начала натуральной философии Ньютона. Представления Ньютона о механике небесного движения и о сотворении мира

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 [12]. 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, из законов Ньютона чисто математически выводятся три закона Кеплера о движении планет, носящие эмпирический характер.

- 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.

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.

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» (см. [7]).

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 Вселенной.

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 ньютоновской 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 расстояний 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 (по-видимому, интуиция подсказывала ему, что объяснение гравитации лежит за пределами механики). Именно в связи с этим Ньютон произнес свою знаменитую фразу: «Гипотез не измышляю».

4.6. Общая характеристика научного знания XVI–XVII веков

Как отмечалось выше (см. тему 3, вопрос 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 век 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 галилеевском понимании, которая базируется на эксперименте и активно использует математический аппарат. Начинается проникновение в науку инструментальных методов.

В ньютоновской 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 ньютоновской 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 (см. [8]).

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: 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 появляются 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 [13]. В 1700 г. была организована Прусская академия (ее первым президентом стал выдающийся ученый и философ Готфрид Вильгельм Лейбниц). Лейбниц содействовал также распростра-

нению 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.

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. 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.

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 5. Классический этап естествознания

Основные вопросы:

- 5.1. Классическая картина мира.*
- 5.2. Представления о материи и веществе. Зарождение научной химии. Периодическая система Менделеева.*
- 5.3. Эволюционные идеи в естествознании Нового времени.*
- 5.4. Развитие физики в XIX веке.*

5.1. Классическая картина мира

Классический этап естествознания охватывает период времени 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 ньютоновско-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».

Представления Ньютона о пространстве и времени сохранились в классической физике до конца XIX в. Вкратце они сводятся к следующим положениям: *пространство есть простое «вместилище» тел; пространство трёхмерно и его основные свойства описываются геометрией Евклида; одномерное время «протекает» равномерно независимо от пространства и содержащейся в нём материи.*

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 трактовались как воплощение детерминированной (однозначной) связи между причиной и следствием.

В целом 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. А вся Вселенная уподоблялась гигантской детерминированной машине, в которой все происходящие в ней явления представляют собой цепь причин и следствий.

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 редукционизма). 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.

5.2. 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) 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 корпуску-

лярной 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 прикладного 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, анало-

гичные 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 соединения атомов различных типов в определенных пропорциях приводят 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 комок 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.

5.3. Эволюционные идеи в естествознании Нового времени

На рубеже XVII и XVIII веков 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 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. Цементирующим элементом научного знания выступала математика. Недаром крупнейшие французские учёные (Лаплас, Даламбер, Лагранж) были математиками, внесшими также значительный вклад в физику и астрономию. В этот период развитие знаний, рост образования рассматриваются как движущие силы общественного прогресса. Возрастает престиж философии. Идеи, составившие фундамент классической европейской философии, разрабатываются в Англии (Беркли и Юм), Франции (Вольтер, Руссо, Гольбах), Германии (Кант, Фихте, Гёте). Энциклопедизм – характерная примета той эпохи. В 1728 г. выходит двухтомная 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, палеонтологии. Так, в геологии возникает теория развития Земли (Ч. Лайель, 1830 г.), 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 г.), закон сохранения и превращения энергии (Р. Майер, 1842, Д. Джоуль, 1843 г.) и эволюционное учение Ч. Дарвина (1859). Убедительным доказательством материального единства мира явилось откры-

тие периодической системы элементов (Д. И. Менделеев, 1869 г.), создание теории химического строения органических соединений (А. М. Бутлеров, 1861 г.), основ научной физиологии (И. М. Сеченов, 1863 г.), электромагнитной теории света (Дж. Максвелл, 1873 г.). 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.

5.4. 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 определённой *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 следующем виде: *приращение внутренней энергии системы равно сумме совершённой над ней работы и сообщённой ей теплоты*. Таким образом, 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: если термодинамическая система не получает теплоты, то работа может осуществляться только за счёт уменьшения её внутренней энергии, которая, в конце концов, исчерпается.

В 1859 г. немецким физиком Р. Клаузиусом было сформулировано **второе начало термодинамики**: *невозможен процесс, при котором теплота самопроизвольно переходит бы от более холодных тел к более нагретым телам*. Таким образом, 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. Клаузиус ввёл понятие *энтропии* как меры необратимого рассеяния теплоты в термодинамических процессах. Энтропия системы является её важнейшей макроскопической характеристикой. Формально энтропия представляет собой функцию состояния системы, однако её невозможно измерить с помощью какого-либо прибора. Согласно формуле Клаузиуса, *общая энтропия замкнутой системы всегда возрастает*.

Австрийский физик Людвиг Больцман (1844–1906) дал статистическое истолкование энтропии в терминах термодинамической вероятности. 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 за-

кон 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. Статистическое истолкование энтропии ограничивает область действия второго начала термодинамики макроскопическими системами и показывает его неприменимость к микро- и мега-системам. В частности, для мегамира (Вселенной в целом) нет понятия «наиболее вероятного состояния». Поэтому принадлежащая Клаузиусу гипотеза «тепловой смерти Вселенной», состоящая в том, что все виды энергии во Вселенной перейдут в тепловую, которая равномерно распределится по всей Вселенной, и это приведёт к её гибели, не имеет достаточных оснований.

XIX век ознаменовался открытием фундаментального закона – *закона сохранения и превращения энергии*. Его экспериментальное подтверждение было получено на многочисленных опытах, демонстрировавших взаимопревращения различных «сил природы» (например, опыты с электрическим током, связанные с его химическими, тепловыми, магнитными и электродинамическими действиями). Важный шаг в понимании сути этого закона сделал немецкий врач Юлиус Роберт Майер (1814–1878) – ученый с необыкновенными интуицией и воображением. Будучи судовым врачом, он провел физиологические наблюдения изменений цвета крови у матросов, перешедших из умеренного пояса в тропический. Майер пришел к выводу, что температурная разница между собственным теплом организма и теплом окружающей среды должна находиться в количественном соотношении с разницей в цвете обоих видов крови – артериальной и венозной. Эта разница является выражением размера потребления кислорода или «силы процесса сгорания, происходящего в организме». Именно Майеру принадлежит фундаментальная идея о взаимопревращении друг в друга различных «сил природы» в определенных количественных соотношениях. Рядом с Майером можно поставить Джоуля, который целеустремленно шел к всестороннему экспериментальному обоснованию общности закона сохранения энергии. Экспериментами, где электрический ток одновременно выделяет теплоту и производит механическую работу, Джоуль доказывает, что энергия сохраняется и при сложных превращениях. Однако, хотя факт сохранения «сил природы» при многообразных превращениях был установлен целым рядом независимых экспериментов, он не имел точного выражения и потому оставался неким утверждением философского толка, а физики середины XIX в. относились к таким утверждениям скептически. Необходимо было сформулировать закон в точных понятиях и дать ему математическое выражение. Впервые это сделал Герман Гельмгольц (1821–1894). Кроме Майера, Джоуля и Гельмгольца обоснованием закона «сохранения силы» и измерениями механического эквивалента теп-

лоты занимался целый ряд других исследователей. Тем не менее, вся эта гигантская волна интеллектуальных усилий не привлекала внимания маститых физиков. Перелом произошел в начале второй половины XIX в. – по времени он совпал с введением в лексикон физики понятия *энергии*. В 1852 г. в работе «Динамическая теория тепла» У.Томсон дал первое определение энергии: «Под энергией материальной системы в определенном состоянии мы понимаем измеренную в механических единицах работы сумму всех действий, которые производятся вне системы, когда она переходит из этого состояния любым способом в произвольно выбранное нулевое состояние». Несколько позже Максвелл дал простое и точное определение энергии как способности системы совершать работу, подчеркнув неразрывность связи понятий энергии и работы. Анализ этой связи привел в итоге к пониманию работы как процесса, приводящего к созданию источника энергии. Постепенно начало складываться представление об энергии как общей количественной мере движения и взаимодействия всех видов материи, приведшее к современной формулировке закона сохранения энергии: *в изолированной системе энергия может переходить из одной формы в другую, но общее ее количество остается неизменным*. Открытие закона сохранения и превращения энергии, связавшего воедино все взаимодействия природы, имело огромное значение для физики и всего естествознания.

Еще одним 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 (см. [7]). «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 помощью 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 по-

средством 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). В дальнейшем оказалось, что к электромагнитным излучениям, помимо видимого света, относятся инфракрасное и ультрафиолетовое излучения, имеющие, преимущественно, тепловое происхождение.

Другой вид электромагнитного излучения – рентгеновское излучение – также имеет тепловое происхождение или порождается движением заряженных частиц в магнитных полях. Источником космического рентгеновского излучения служат двойные звезды. Его механизм следующий: одна из пары звезд мала, обладает огромной плотностью и «втягивает» вещество второй звезды; при падении на ее поверхность оно разогревается и становится источником рентгеновского излучения.

При столкновении заряженных частиц космических лучей с атомами земной атмосферы происходит коротковолновое излучение (γ -излучение и рентгеновское). Радиоактивный распад атомных ядер является главным «поставщиком» γ -излучения у поверхности Земли.

Излучают электромагнитные волны и все живые существа. Прежде всего, как любое нагретое тело – инфракрасное излучение. Исследование

физических полей человека привело к обнаружению излучений не только в инфракрасном, но также в радиодиапазоне. Некоторые животные, например, светлячки и глубоководные рыбы испускают видимый свет, который получается за счет химических реакций (так называемый «холодный свет»). При реакциях, связанных с делением клеток растительных и животных тканей, излучается ультрафиолет. Таким образом, электромагнитные излучения различных типов пронизывают весь космос, Землю и все находящиеся на ней тела.

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 [14]: «Результаты работ Фарадея, Максвелла и Герца привели к развитию современной физики, к созданию новых понятий, образующих новую картину действительности».

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 веков 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 ЛИТЕРАТУРЫ К ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ

1. *Розен В. В.* Концепции современного естествознания. Конспект лекций. М. : Айрис Пресс, 2004.
2. *Розен В. В.* Становление идей современного естествознания. Саратов : Изд-во «Саратовский источник», 2010.
3. *Стройк Д. Я.* История математики. М. : Наука, 1964.
4. *Соломатин В. А.* История науки: учеб. пособие. М. : ПЕР СЭ, 2003.
5. *Клайн М.* Математика. Поиск истины / пер. с англ. М. : Мир, 1988.
6. *Штаерман Е. М.* Кризис античной культуры. М. : Наука, 1975.
7. *Бернал Дж.* Наука в истории общества / пер. с англ. М. : Изд-во иностр. лит., 1956.
8. *Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И.* Уставы небес. М. : Айрис Пресс, 2004.
9. У истоков классической науки : сб. статей. М. : Наука, 1968.
10. *Грэхэм Л., Кантор Ж.-М.* Имена бесконечности: правдивая история о религиозном мистицизме и математическом творчестве. СПб. : Изд-во Европейского университета в Санкт-Петербурге, 2011.
11. *Кирсанов В. С.* Научная революция XVII века. М. : Наука, 1987.
12. *Кириллин В. А.* Страницы истории науки и техники. М. : Наука, 1986.
13. *Торосян В. Г.* Концепции современного естествознания. М. : Высш. шк., 2002.
14. *Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. М. : Наука, 1965.

Раздел второй

**Становление современной
физической картины мира**

Тема 6. Начало крушения механистической картины мира

Основные вопросы:

6.1. Механистическая картина мира.

6.2. Понятие поля. Полевая картина мира.

6.3. Парадигма целостного мира.

6.1. Механистическая 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 движений жидкостей и газов, колебаний упругих тел, а также создание кинетической теории теплоты: окончательно было установлено, что теплорода не существует, а теплота есть движение. Таким образом, механистический взгляд на природу 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 мир огромному и жесткому часовому механизму, ход которого до мельчайших деталей неукоснительно следует логике причины и следствия, воплощенной в законах Ньютона. Концепция детерминизма (однозначной связи между причиной и следствием) 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 коор-

динаты 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».

6.2. Понятие поля. Полевая картина мира

Крушение механистической картины мира происходило постепенно. Начало этому было положено работами в области электромагнетизма и связано с именами М. Фарадея и Дж. Максвелла.

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. Изучение электрического и магнитного полей привело Максвелла к выводу о том, что эти поля существуют не изолированно, а в комбинации друг с другом, и в результате было введено понятие *электромагнитного поля*: изменение электрического поля порождает магнитное поле, а изменение магнитного поля порождает электрическое поле. Электромагнитное поле распространяется в виде электромагнитной волны со скоростью $c = 300\,000$ км/с. Согласно «полевой трактовке», электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно, через пустоту: каждый из них создаёт вокруг себя электромагнитное 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.

На основе понятий электромагнитного и гравитационного полей в науку впоследствии 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 проходит движение зарядов или масс (при этом надо иметь в виду, что силовые линии являются воображаемыми – они не более реальны, чем, например, меридианы на глобусе). Помимо электромагнитного и гравитационного к физическим полям впоследствии были отнесены поля ядерных сил, а также волновые (квантовые) поля, соответствующие разным частицам. 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 представление о непрерывности поля было заменено представлением о поле, имеющем дискретную структуру, причём каждому полю соответствуют свои частицы – кванты этого поля.

6.3. Парадигма целостного мира

Идеи Фарадея и Максвелла подготовили почву для крушения механистической картины мира. Появление полевой картины мира явилось своеобразной прелюдией к обнаружению свойств микромира, законы которого разительно отличаются от тех, которые действуют в макромире. Кардинальным поворотом явилось изменение воззрений на природу вещества. До конца XIX в. считалось, что атомы неделимы и являются «мельчайшими частицами материи». 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 ге-

лия), β -частицы (электроны), а также γ -излучение (высокочастотное электромагнитное излучение). В 1897 г. Дж. Томсон экспериментально установил, что атом делим, и измерил электрический заряд, а также 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} с 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 (см. тему 7, вопрос 1). Квантовая теория привела к новому взгляду на материю, состоящему в том, что субатомные частицы – это не отдельно взятые «крупницы вещества», а агенты энергетического взаимодействия с другими частицами. Каждая частица принимает участие в своеобразном «танце» – постоянных перемещениях, столкновениях, взаимопревращениях и иных взаимодействиях с другими частицами, причём все эти процессы сопровождаются пульсирующим обменом энергии. Поэтому невозможно понять свойства одной отдельно взятой частицы, изолировав её от остального мира. В рамках такого подхода вся Вселенная рассматривается как подвижная сеть взаимосвязанных событий [1].

Итак, существовавшее до начала XX века представление о Вселенной как детерминированной машине, подчинённой логике причины и следствия, сменилось картиной взаимосвязанного динамического целого, где не только свойства целого определяются свойствами частей, но и свойства каждой части зависят от целого (так называемая *парадигма целостности*).

Тема 7. Квантовая механика – аппарат исследования микромира

Основные вопросы:

7.1. *Квантовая гипотеза Планка. Постулаты Бора.*

Квантовые взаимодействия в микромире.

7.2. *Корпускулярно-волновой дуализм. Формула де Бройля.*

ψ -волны Шредингера.

7.3. *Соотношение неопределённостей Гейзенберга.*

Принцип дополнительности Бора.

7.4. *Квантовая механика и неклассическое естествознание.*

7.1. Квантовая гипотеза Планка. Постулаты Бора. Квантовые взаимодействия в микромире

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, из теории следовало, что любой источник электромагнитного излучения, например, человеческое тело, должен ярко светиться в темноте [2]). Планк заметил, что эти трудности исчезают, если предположить, что атомы испускают электромагнитную энергию 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

$$E = nh\nu,$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$ – число испущенных квантов, ν – частота излучения, h – постоянная, названная впоследствии *постоянной Планка* ($h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с).

Почему же излучение кажется нам непрерывным, а не дискретным? Дело в том, 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

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 переходе 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 излученной волны 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). 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.

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*).

В 1927 г. английские ученые В. Гейтлер и Ф. Лондон построили квантовую теорию химической связи, которая позволила объяснить фундаментальное химическое свойство – свойство валентности. В этой теории основную роль играет единственная характеристика электрона – его момент импульса (спин). Оказалось, что химические связи образуют пары электронов, имеющих антипараллельные спины. Квантовая механика дала объяснение химическим свойствам 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 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 под-

вела научный фундамент под периодический закон Менделеева: периодичность свойств элементов объясняется периодическим повторением конфигураций внешних электронных оболочек атомов.

7.2. Корпускулярно-волновой дуализм. Формула де Бройля. ψ -волны Шредингера

Из того факта, что свет излучается порциями, следует, 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: *все элементарные частицы имеют также волновые свойства*. Эта концепция вошла в науку под названием «корпускулярно-волновой дуализм». Согласно де Бройлю, волновыми свойствами обладают все объекты. Почему же мы не замечаем волновых свойств окружающих нас предметов? Дело в том, что длина волны λ частицы массы m , движущейся со скоростью v , определяется формулой де Бройля

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

где h – постоянная Планка, $p = mv$ – импульс частицы. Например, если масса частицы $m = 1$ г и скорость её движения $v = 1$ см/с, то $\lambda \approx 10^{-20}$ см, т.е. длина волны оказывается в 10 млн раз меньше атомного ядра и обнаружить такую волну нельзя. Таким образом, квантовая неопределенность не распространяется на макроскопические тела только потому, что постоянная Планка слишком мала.

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. Шредингер предположил, что волновая функция описывает некое физическое поле, а 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. Если частица локализована в пределах некоторой области X , её возможное положение в этой области можно представить с помощью рисунка, называемого *волновым пакетом* (рис. 4).

Длина волны (расстояние между соседними пиками) обратно пропорциональна импульсу частицы: уменьшение длины волны соответствует увеличению импульса частицы, а следовательно, и ее скорости. В таких волновых пакетах расстояние между соседними пиками не является постоянным, причем при «сжимании» пакета разброс этих расстояний, а значит, неопределенность импульса увеличивается.

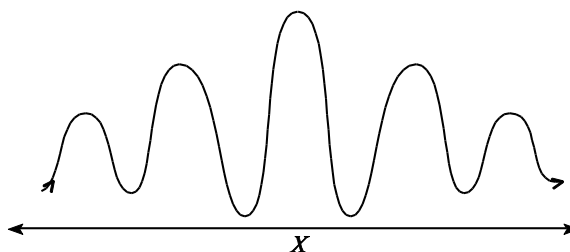


Рис. 4

Введенная Э. Шредингером волновая функция ψ является основной величиной, характеризующей состояние системы в квантовой механике. С математической точки зрения она представляет собой комплекснозначную функцию четырех переменных

$$\Psi(x, y, z, t),$$

где x, y, z – координаты частицы, t – время. При этом квадрат модуля волновой функции определяет вероятность нахождения частицы в момент времени t в точке с координатами (x, y, z) .

Волновая функция описывает не только распределение вероятностей нахождения микрообъекта в пространстве, но также дает возможность получить информацию о других физических величинах, характеризующих эти микрообъекты, а также средние значения всех этих величин.

7.3. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.

Принцип дополнительности Бора

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 неопределенностей 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.

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, так называемый, *принцип дополненности*. Этот принцип рассматривает картину частицы и картину волны как взаимно дополнительные 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 .

7.4. Квантовая механика и неклассическое естествознание

Развитие квантовой механики оказало революционизирующее влияние не только на физику, но и на все естествознание. Главное 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 [3].

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

Теории, описывающие физические процессы, можно подразделить на динамические и статистические. 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 нахож-

дение 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 поэтому 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 (см. тему 5, вопрос 1): 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 XVII–XVIII вв., глубоко верили в этот постулат (среди них – величайший физик XX в. Альберт Эйнштейн). Однако изучение микромира заставляет отказаться, казалось бы, от 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 причинности. *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 влияния которого зависят наблюдаемые эффекты. Далее, классическая физика исходила из постулата измеримости физических характеристик объектов с любой степенью точности; в то же время квантовая механика показала наличие принципиальных ограничений, которые природа накладывает на некоторые величины (например, координаты и импульс частицы). С методологической точки зрения неопределенность некоторых величин является следствием применения классических понятий к описанию неклассических объектов, при этом квантовая природа микрообъектов дополнительна их классическому описанию. 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? 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. Специальная теория относительности

Основные вопросы:

8.1. *Прелюдия к теории относительности.*

Опыт Майкельсона и отказ от гипотезы эфира.

8.2. *Идея инвариантности. Преобразования Лоренца.*

Альберт Эйнштейн.

8.3. *Физические принципы специальной теории относительности.*

8.4. *Оценка эффектов специальной теории относительности с помощью преобразований Лоренца.*

8.5. *Элементы релятивистской динамики.*

8.6. *Картина мира в рамках специальной теории относительности.*

8.1. Прелюдия к теории относительности.

Опыт Майкельсона и отказ от гипотезы эфира

В начале XX века радикальные изменения претерпели взгляды на основополагающие физические субстанции – пространство и время. Этот кардинальный поворот в миропонимании был подготовлен рядом открытий. Одним из таких открытий явился опыт, проведенный в 1881 г. американским физиком Альбертом Майкельсоном. Майкельсон решил провести эксперимент, который подтвердил бы, что Земля движется в неподвижном эфире. Гипотеза неподвижного эфира, через который свободно проносятся все космические тела, была в то время общепризнанной. Считалось, что эфир абсолютно прозрачен, не имеет цвета, запаха и не осязаем. Эфир рассматривался как неподвижная среда, в которой распространяются электромагнитные волны.

Идея опыта Майкельсона была высказана еще в 1878 г. основателем теории электромагнетизма Дж. Максвеллом и может быть пояснена следующим примером. Если мы плывём на вёсельной лодке по реке вверх по

течению, а потом возвращаемся на то же место вниз по течению, то на весь путь потребуется больше времени, чем на такой же путь в стоячей воде.

- Например, пусть расстояние от A до B составляет 24 км, собственная скорость лодки (т.е. скорость в стоячей воде) – 6 км/ч и скорость течения реки – 2 км/ч. Тогда на путь «туда» мы затрачиваем $24/4 = 6$ ч, на путь «обратно» – $24/8 = 3$ ч, и общее время поездки составит 9 часов. На преодоление такого же пути в стоячей воде потребуется $24/6 + 24/6 = 8$ ч. «Время задержки» составляет здесь 1 час. Эффект задержки возникает в данном случае потому, что течение «помогает» плыть 3 часа, а «мешает» 6 часов.

Воспользовавшись этой идеей, Майкельсон и его сотрудник Морли провели следующий эксперимент. Из точки A в точку B направляется луч света, который отражается от установленного там зеркала и возвращается обратно (рис. 5). При этом точки A и B были выбраны так, чтобы направление из A в B совпадало с направлением движения Земли по её орбите,

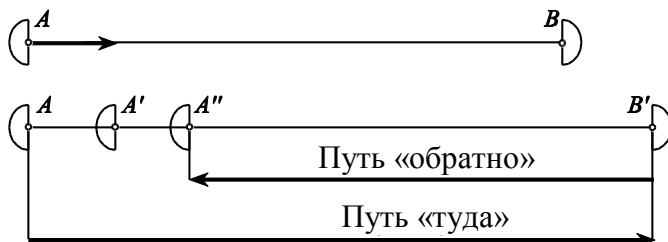


Рис. 5

поэтому путь «туда» оказывается длиннее, чем путь «обратно» (когда луч идёт из A в B , зеркало «убегает» от луча со скоростью движения Земли по орбите, а когда луч возвращается обратно, зеркало движется навстречу отражённому лучу).

Как и в случае движения лодки по реке, общее время движения луча «туда» и «обратно» должно быть больше, чем время «туда и обратно» без учёта орбитального движения Земли (т.е. должно возникать «время задержки»).

Однако, хотя Майкельсон использовал для измерения очень чувствительный прибор – интерферометр, никакого «времени задержки» ему обнаружить не удалось. Опыт Майкельсона устанавливает независимость скорости распространения света от орбитального движения Земли и тем самым опровергает гипотезу о «неподвижном эфире», в котором якобы распространяются световые колебания.

8.2. Идея инвариантности. Преобразования Лоренца.

Альберт Эйнштейн

Снятие гипотезы неподвижного эфира приводит к необходимости пересмотра статуса пространства и времени. Классическая физика исходит из представлений об абсолютном 3-мерном пространстве, которое существует независимо от содержащейся в нём материи, и времени – самостоятельном измерении, текущем с постоянной скоростью независимо от материального мира. Эти представления были сформулированы ещё Ньютоном

в «Математических началах натуральной философии». Говоря о пространстве и времени, Ньютон полагал их абсолютными и независимыми друг от друга (см. тему 5, вопрос 1). 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.) А раз нет возможности «привязки» к неподвижной системе тел, то нет и абсолютной системы отсчёта. Как же быть в этой ситуации? Ведь очевидно, что результаты измерений первичных величин (а, значит, и полученных на их основе производных величин) зависят от того, в какой системе отсчёта они выполнены. Чтобы придать результатам субъективных измерений объективный характер, вводится ключевое понятие *инварианта* – свойства, которое не зависит от того, в какой системе отсчёта оно получено. Эта идея реализуется следующим образом.

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 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.

Рассмотрим две системы отсчёта в пространстве, причём вторая движется относительно первой равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью V (считаем, что движение происходит поступательно в направлении координатной оси Ox (рис. 6).

Пусть M – произвольная точка пространства, её координаты в первой системе отсчёта (x, y, z) и во второй (x', y', z') .

Связь между координатами точки M в этих системах отсчёта имеет следующий вид:

$$\begin{cases} x' = x - Vt, \\ y' = y, \\ z' = z. \end{cases} \quad (8.1)$$

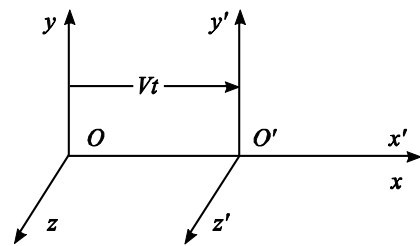


Рис. 6

Кроме того, $t' = t$. Преобразования (8.1) называются *преобразованиями Галилея*. Уравнения, выражающие законы Ньютона, ковариантны относительно преобразований Галилея – отсюда следует, что любые механические явления во всех инерциальных системах отсчёта протекают одинаково. Сформулированный принцип есть *принцип относительности Галилея*.

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 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. В результате находящийся в закрытой кабине экспериментатор при помощи наблюдения над такими процессами, казалось, мог определить, находится ли его кабина в движении относительно неподвижного эфира, или же она покоится. Рассмотрим в связи с этим следующий пример.

Пример 1 (см. [2]). Пусть имеется электрический заряд, который покоится в первой системе отсчёта. Для наблюдателя, находящегося в первой системе отсчёта, этот заряд неподвижен, следовательно, по законам электростатики он создаёт вокруг себя электростатическое поле. Однако для наблюдателя, находящегося во второй системе отсчёта (движущейся относительно первой с постоянной скоростью V), этот заряд движется и, следовательно, создаёт магнитное поле. Таким образом, для разных наблюдателей получаются разные физические эффекты.

С математической точки зрения разные физические эффекты для наблюдателей, помещённых в разные инерциальные системы отсчёта, объясняются отсутствием ковариантности уравнений Максвелла относительно преобразований Галилея, что превращает эти законы в фикцию.

Выход из создавшегося положения предложил голландский физик Х. Лоренц (1904), указавший новые правила преобразования координат, относительно которых уравнения Максвелла становятся ковариантными. В случае движения второй системы координат относительно первой с постоянной скоростью V относительно оси x -ов, преобразования Лоренца принимают вид

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}, \quad (8.2)$$

где c – скорость света.

Преобразования Лоренца представляют собой чисто математический приём и преследуют единственную цель – сохранить ковариантность уравнений Максвелла. Но вот в 1905 г. на небосклоне физики появляется звезда первой величины – Альберт Эйнштейн.

- Он родился в Германии в 1879 г. После окончания политехнического института в Цюрихе получил место в федеральном патентном бюро в Берне с 1902 по 1909 гг. За эти годы Эйнштейн создал специальную теорию относительности и сделал, кроме того, целый ряд первоклассных открытий в различных разделах физики. Только в 1909 г. научные достижения Эйнштейна стали широко известными. В 1913 г. его избирают членом Прусской академии наук, и он переезжает в Берлин, где живёт до 1933 г., являясь в эти годы директором Физического института и профессором Берлинского университета. В этот период он завершает общую теорию относительности, начатую им ещё в 1907 г. В 1933 г. в условиях фашистской Германии Эйнштейн отказался от членства в академии наук и эмигрировал в США. Там он работал до конца жизни в Принстоне, в Институте фундаментальных исследований. Умер Эйнштейн в 1955 г.

Созданная Эйнштейном в начале XX в. теория относительности опрокинула все привычные представления о пространстве и времени и привела к созданию так называемой *релятивистской картины мира*.

8.3. Физические принципы специальной теории относительности

В основе специальной теории относительности (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.*

Принцип относительности Эйнштейна является обобщением принципа относительности Галилея, который утверждает одинаковость *механических явлений* во всех инерциальных системах отсчёта. 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 чего 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 приблизительно равна $c = 300000$ 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. 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. В самом деле, рассмотрим две инерциальные системы отсчёта, одна из которых движется относительно другой вдоль оси x -ов с постоянной скоростью V (рис. 7).

Предположим, что в начальный момент времени в точке $O = O'$ производится вспышка света. Что произойдёт в момент времени t ? Свет, распространяясь со скоростью c , достигает в первой системе отсчёта точек сферы радиуса ct с центром в точке O . Во второй системе отсчёта за время $t' = t$ свет достигает сферы того же радиуса ct , но центр сферы будет находиться в точке O' , сдвинутой по оси x -ов относительно точки O на расстояние Vt .

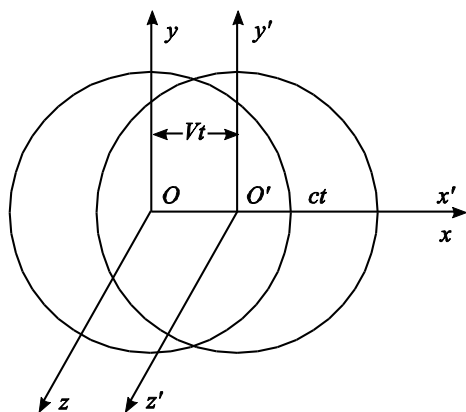


Рис. 7

Получается парадокс: в один и тот же момент времени свет должен достигать двух разных сфер. Единственный способ избежать данного парадокса — считать, что в этих системах отсчёта время течёт с различной скоростью: пока в первой системе отсчёта протекает промежуток времени t , во второй протекает $t' < t$. Итак, *в движущейся системе отсчёта должно происходить 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.

8.4. Оценка эффектов специальной теории относительности с помощью преобразований Лоренца

Математический аппарат СТО составляют преобразования Лоренца. Принципиальным является то, что законы преобразования координат, введённые Лоренцем как чисто математический приём, могут быть получены формально из постулата постоянства скорости света. Тот факт, что в СТО ни евклидова длина $\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$, ни «обычный» временной промежуток Δt не являются инвариантами преобразований Лоренца, приводит к объединению пространства и времени в единую 4-мерную структуру *пространство-время*. Инвариантом в ней является величина

$$(c\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2, \quad (8.3)$$

которая и принимается за квадрат расстояния между любыми двумя точками $M(x, y, z, t)$ и $M'(x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z, t + \Delta t)$. Заметим, что хотя пространство и время объединены здесь в одну структуру, между ними сохраняется формальное различие, состоящее в том, что пространственные и *временные* координаты входят в формулу (8.3) с разными знаками. Математической моделью объединённого пространства времени является так называемое 4-мерное *пространство Минковского*.

С помощью преобразований Лоренца можно оценить величину эффектов СТО (релятивистских эффектов).

1. Найдём замедление темпа течения времени в движущейся системе отсчёта. Пусть вторая система отсчёта движется относительно первой в направлении оси x -ов с постоянной скоростью V (рис. 8).

Поместим часы в точку O' . Тогда $x' = 0$ и по формуле (8.2) получаем $x - Vt = 0$, т.е. $x = Vt$, откуда $Vx = V^2t$. Подставляя это равенство в выражение для t' , находим

$$t' = \frac{t - \frac{V^2}{c^2}t}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} = t \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}. \quad (8.4)$$

Время t' есть «собственное время» наблюдателя, движущегося со скоростью V (т.е. время по часам, движущимся вместе с ним). Ввиду того, что $t' < t$, происходит замедление времени (а также замедление всех происходящих физических процессов), причём величина этого замедления согласно формуле (8.4) определяется отношением V/c . Так как для земных скоростей V/c близко к нулю, это замедление практически незаметно. Но, например, для путешественника, летящего в космическом корабле со скоростью $V = 0,6c$, за земной год проходит время

$$\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} = \sqrt{1 - (0,6)^2} = 0,8 \text{ года.}$$

Здесь уже эффект замедления времени вполне ощутим.

Замечание. Из выражения t' в преобразованиях Лоренца (8.2) видно, что одному моменту времени t в первой системе отсчёта соответствуют различные моменты времени t' во второй системе отсчёта в зависимости от значения координаты x . Таким образом, в разных точках движущейся системы отсчёта время будет иметь разные значения.

2. Найдём с помощью преобразований Лоренца величину изменения линейных размеров движущегося тела. Рассмотрим твёрдый стержень M_1M_2 , который перемещается равномерно со скоростью V относительно оси x -ов (см. рис. 8).

Относительно системы отсчёта $O'x'y'z'$, которая перемещается вместе с ним, стержень покоится, и его длина в этой системе отсчёта (собственная длина стержня) равна

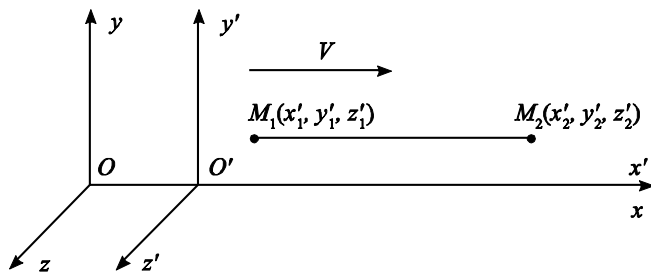


Рис. 8

$l_0 = |x'_2 - x'_1|$. Чтобы определить длину l движущегося стержня, наблюдателю, находящемуся в первой системе отсчёта, надо отметить координаты точек M_1 и M_2 в произвольный, но один и

тот же момент времени, например, при $t = 0$. Из формул (8.2) получаем

$$x_1 = x'_1 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}, \quad x_2 = x'_2 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2},$$

откуда

$$l = |x_2 - x_1| = \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} |x'_2 - x'_1| = \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} l_0. \quad (8.5)$$

Так как $\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} < 1$, то $l < l_0$. Таким образом, *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.

3. Правило сложения скоростей в СТО имеет вид

$$w = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}}, \quad (8.6)$$

где u, v – складываемые скорости, c – скорость света в вакууме.

Из формулы (8.6) следует, что, складывая любые две скорости, меньшие c , мы получаем также скорость меньше c .

8.5. Элементы релятивистской динамики

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:

$$m \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F} \quad (\text{или} \quad \frac{d(m\bar{v})}{dt} = \bar{F}). \quad (8.7)$$

Если считать массу m постоянной во всех инерциальных системах отсчёта, то уравнение (8.7) меняет свой вид (т.е. не является ковариантным) относительно преобразований Лоренца. Но при замене m на так называемую *релятивистскую массу* по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (8.8)$$

(где m_0 – масса тела, которое покоится относительно наблюдателя – масса покоя), уравнение (8.7) становится уже 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

$$E = mc^2. \quad (8.9)$$

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, кроме 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 $\frac{1}{2} \times 10^{-14}$ от полной энергии тела.

- Иногда соотношение (8.9) ошибочно истолковывают как указание на возможность взаимных превращений массы и энергии. В действительности оно означает лишь пропорциональность массы и энергии. Например, 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 (так называемый 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.

8.6. Картина мира в рамках специальной теории относительности

Сформулируем основные выводы из специальной теории относительности [4, 5].

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

2. Принципиальный факт, лежащий в основе теории относительности, состоит в том, что в отличие от представлений классической физики, пространство и время не изолированы, а тесно 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 скорости 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. Формально, если положить отношение v/c равным нулю, то преобразования Лоренца (8.2) превращаются в преобразования Галилея (8.1), а физика СТО «превращается» в физику Ньютона. 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. Приняв в качестве основных законов природы два постулата – постулат относительности и постулат постоянства скорости света, – Эйнштейн пришел к совершенно новым представлениям о пространстве и времени.

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

Тема 9. Общая теория относительности

Основные вопросы:

- 9.1. Неевклидовы геометрии. Кривизна поверхности.
- 9.2. Тезис Эйнштейна о совпадении гравитационной и инертной массы. Принцип эквивалентности.
- 9.3. Сведение гравитации к искривлению пространства. Математическая модель общей теории относительности.
- 9.4. Значение теории относительности для современной физической картины мира.

9.1. Неевклидовы геометрии. Кривизна поверхности

Следующий шаг, сделанный Эйнштейном после создания им СТО – разработка так называемой *общей теории относительности* (ОТО). Решающую роль здесь сыграло появление *неевклидовых геометрий*. Евклидова геометрия, носящая имя своего создателя, была изложена Евклидом в его знаменитых «Началах» (см. тему 2, вопрос 3) и просуществовала почти без изменений до XIX века, причём считалось, что евклидова геометрия описывает геометрию реального (физического) пространства и других геометрий в принципе быть не может. Исторически первой неевклидовой геометрией была геометрия, созданная нашим соотечественником Н. И. Лобачевским и носящая его имя. Геометрия Лобачевского формально может быть определена очень просто – заменой аксиомы параллельности Евклида аксиомой параллельности Лобачевского. Аксиома параллельности Евклида состоит в том, что на плоскости через любую точку, не лежащую на данной прямой, можно провести единственную прямую параллельную данной (рис. 9).

Аксиома параллельности Лобачевского является отрицанием аксиомы параллельности Евклида и утверждает, что через любую точку не лежащую на прямой, можно провести, по крайней мере, две прямые, не пересекающих данную (рис. 10).

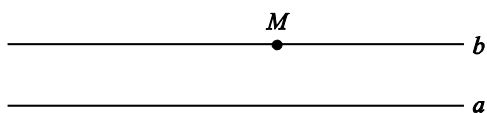


Рис. 9

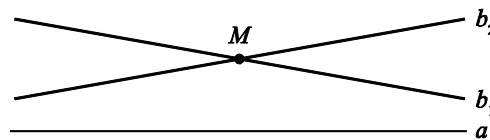


Рис. 10

Если заменить аксиому параллельности Евклида аксиомой параллельности Лобачевского, оставив при этом все остальные аксиомы геометрии Евклида, то получится новая геометрия – геометрия Лобачевского, в которой часть фактов (теорем) совпадает с фактами геометрии Евклида, но

некоторые резко отличаются от них. Например, в геометрии Лобачевского сумма углов треугольника меньше, чем π и, вообще, не является постоянной величиной.

Какое отношение имеет построенная Лобачевским новая геометрия (которая вначале рассматривалась как «игра ума»), к реальному миру? Оказывается, что с ней связана одна из самых глубоких идей XX века, которая была воплощена Эйнштейном в его общей теории относительности. Чтобы понять суть идеи Эйнштейна, рассмотрим вначале вопрос реализации геометрии Лобачевского на искривлённой поверхности. Важнейшее понятие геометрии поверхностей – *геодезические линии*, которые являются аналогом прямых. Как известно, прямая на плоскости характеризуется тем, что она даёт кратчайшее расстояние между точками, которые она соединяет. Аналогично определяется геодезическая линия на любой искривлённой поверхности: для любых двух точек она даёт кратчайшее расстояние между ними (если его измерять по поверхности). Например, на сфере геодезические – это дуги большого круга (в частности, меридианы, но не параллели). Для искривлённой поверхности геодезическую линию можно получить способом, указанным на рис. 11.

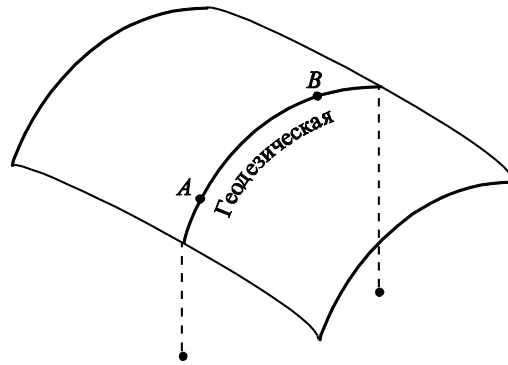


Рис. 11

Для «жителя» искривлённой поверхности геодезические представляются прямыми, а для жителей окружающего пространства – нет. Но «житель» искривлённого пространства не знает о существовании окружающего пространства, потому для него геодезическая – «настоящая прямая». Важным является тот факт, что геометрия Лобачевского может быть реализована на некоторых искривлённых поверхностях. Одна из таких поверхностей – *псевдосфера* – имеет вид, представленный на рис. 12.

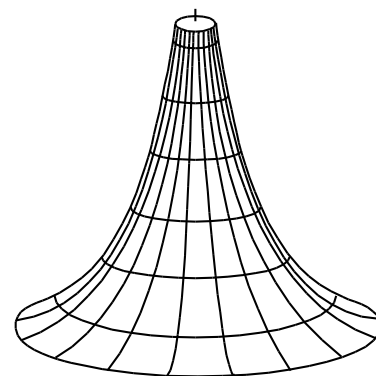


Рис. 12

Геометрия Лобачевского является исторически первой неевклидовой геометрией. Другой тип неевклидовой геометрии – *геометрия Римана*. В ней вообще нет параллельных прямых (т.е. любые две прямые пересекаются), а сумма углов треугольника больше π . Геометрия Римана может быть реализована на сфере, причём в качестве геодезических выступают дуги больших окружностей.

Оказывается, что тип геометрии поверхности определяется особой скалярной величиной, называемой *кривизной* этой поверхности: на поверхности нулевой кривизны реализуется геометрия Евклида, на поверхности постоянной положительной кривизны – геометрия Римана (эллиптическая геометрия), а на поверхности постоянной отрицательной величины – геометрия Лобачевского (гиперболическая геометрия).

Отметим, что кривизну поверхности можно определить «не выходя за её пределы». Для этого достаточно установить – является ли сумма углов треугольников, лежащих на этой поверхности большей, меньшей или равной π (в качестве сторон треугольника рассматриваются геодезические). В первом случае кривизна поверхности будет положительной, во втором – отрицательной и в третьем – нулевой.

Формально кривизна поверхности в принадлежащей ей точке M может быть определена по формуле

$$K(M) = \lim_{\Delta \rightarrow M} \frac{\delta}{S}, \quad (9.1)$$

где δ – так называемый «избыток» треугольника (разность между суммой его углов и π), S – площадь треугольника; предел берётся при условии, что треугольник Δ стягивается к точке M .

В частности, для сферы радиуса r избыток треугольника равен

$$\delta_{\text{сф}} = \frac{S}{r^2},$$

откуда по формуле (9.1) получаем, что кривизна сферы равна

$$\frac{1}{r^2}.$$

Таким образом, сфера является поверхностью постоянной положительной кривизны. В то же время псевдосфера является поверхностью постоянной отрицательной кривизны, а плоскость – поверхностью нулевой кривизны. Именно поэтому на сфере реализуется геометрия Римана, на псевдосфере – геометрия Лобачевского и на плоскости – геометрия Евклида.

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 привело к мысли, что реальное (физическое) пространство может быть неевклидовым. Эта геометрическая идея и стала ключевой в общей теории относительности Эйнштейна.

9.2. Тезис Эйнштейна о совпадении гравитационной и инертной массы. Принцип эквивалентности

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. Формально пропорциональность гравитационной и инертной массы устанавливается следующим простым рассуждением. Рассмотрим два тела, гравитационные массы которых m_1 и m_2 , а инертные массы – M_1 и M_2 . По второму закону Ньютона $F_i = M_i W_i$ ($i = 1, 2$). Учитывая, что сила, действующая на тело при свободном падении, равна его весу, получим $F_i = m_i g$, откуда $m_i g = M_i W_i$, т.е.

$$\begin{cases} m_1 g = M_1 W_1, \\ m_2 g = M_2 W_2. \end{cases} \quad (9.2)$$

Так как $W_1 = W_2$ (опытный факт), то из (9.2) следует $\frac{m_1 g}{M_1} = \frac{m_2 g}{M_2}$ и,

сокращая на g , получаем требуемое: $\frac{m_1}{M_1} = \frac{m_2}{M_2}$.

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 [6] 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 умозрительный эксперимент (*лифт Эйнштейна*). 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.*

- Сила инерции – это сила, действующая на тело, находящееся в неинерциальной системе отсчёта. Она определяется как произведение массы тела на его ускорение и направлена в сторону, противоположную ускорению, с которым движется неинерциальная система отсчёта. В обиходе мы ощущаем действие сил инерции, например при разгоне или торможении автомобиля, качании на качелях, езде в скоростном лифте и т. п.

Эквивалентность сил инерции и гравитации проявляется в том, что *все физические, химические, биологические процессы протекают в гравитационном поле точно так же, как в неинерциальной системе отсчёта той же силы и направления.* 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 должна быть неевклидовой!

Действительно, рассмотрим два примера.

Пример 1 (см. [6]). В евклидовой геометрии отношение длины окружности к её диаметру равно π . Приблизительно (но с любой степенью точности) число π можно получить как отношение периметра правильного вписанного в эту окружность многоугольника к её диаметру. Экспериментально эта величина получается как отношение числа одинаковых по длине стержней, уложенных вдоль окружности, к числу стержней, уложенных вдоль диаметра. Рассмотрим теперь круглый диск, вращающийся вокруг центра. Согласно СТО, для каждого стержня, уложенного вдоль окружности, происходит сокращение его длины (лоренцово сокращение, см. тему 8, вопрос 4), в то время как стержни, уложенные вдоль диаметра, не испытывают сокращения (так как вращение направлено по касательной, т.е. перпендикулярно диаметру). Таким образом, в системе отсчёта, связанной с вращением диска (и, следовательно, движущейся с ускорением), отношение длины окружности к её диаметру не будет равно π .

Пример 2 [7]. Рассмотрим движение световой частицы (фотона) относительно некоторой инерциальной системы отсчёта. Взяв прямую, по которой движется луч, за ось x -ов, получаем уравнение траектории в виде $\{x = ct, y = 0\}$, где c – скорость света, t – время. Для наблюдателя, находящегося в неинерциальной системе отсчёта, движущейся перпендикулярно оси x -ов с ускорением $-a$, уравнение движения имеет вид $\left\{ x = ct, y = \frac{at^2}{2} \right\}$. Исключая t , получаем $y = \frac{a}{2c^2} x^2$, т.е. относительно такого наблюдателя световой луч будет двигаться по параболе. Согласно принципу эквивалентности, такое же искривление луча должно наблюдаться в инерциальной системе отсчёта под действием гравитационного поля, перпендикулярного лучу.

9.3. Сведение гравитации к искривлению пространства.

Математическая модель общей теории относительности

Общая теория относительности трактует неевклидовость геометрии реального физического пространства как результат его искривления, возникающего за счёт неравномерного распределения и движения масс. Вблизи больших масс искривление пространства больше (см. [4, 5]).

Принцип эквивалентности позволяет исключить из рассмотрения само понятие гравитационного поля, 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 траекторию *всех* движущихся тел, а это эквивалентно искрив-

лению самого пространства. Каждый обладающий массой объект Вселенной оставляет вокруг себя «вмятину», искривляющую окружающее пространство, что сказывается 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 гравитационного поля, 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 [8]. 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

$$ds^2 = \sum_{\alpha, \beta=1}^4 g_{\alpha\beta}(x) dx^\alpha dx^\beta, \quad (9.3)$$

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, которые являются важнейшим примером 2-мерных римановых пространств.

Формально наличие кривизны пространства проявляется в том, что в формуле (9.3) 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 1915 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).

Общая теория относительности является базовой теорией в космологии, а также при исследовании свойств микромира, где эффекты теории относительности становятся заметными.

9.4. Значение теории относительности 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 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 (см. [4]), 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 10. Элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия

Основные вопросы:

10.1. Концепция атомизма.

Поиск элементарных составляющих материи.

10.2. Основные характеристики элементарных частиц.

10.3. Кварковая природа материи. Теория суперструн.

10.4. Фундаментальные взаимодействия в природе.

10.1. Концепция атомизма.

Поиск элементарных составляющих материи

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 «элементарных 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 [9]. «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 считался атом. Однако в начале XX века Резерфорд, исследуя радиоактивные превращения элементов, обнаружил, что атом делим. Поиск первых элементарных составляющих материи привёл к открытию электрона (1897), протона (1919), фотона (1900), нейтрона (1932). Таким образом, к началу 30-х годов XX века было известно 4 типа элементарных частиц (т.е. частиц, не имеющих внутренней структуры). Появилась надежда на то, что все элементарные составляющие материи найдены. Однако открытие новых элементарных частиц разрушило эти иллюзии.

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). (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} секунды. 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, а также их античастицы; остальные элементарные частицы самопроизвольно распадаются. Однако нельзя считать, что нестабильные элементарные частицы «состоят» из ста-

бильных – хотя бы потому, что одна и та же частица может распадаться на различные элементарные частицы несколькими способами [10]. *Это обстоятельство не позволяет рассматривать элементарные частицы как простейшие, неизменные «кирпичики мироздания», подобные атомам Демокрита.*

10.2. Основные характеристики элементарных частиц

Первый шаг к пониманию микромира был сделан на основе систематизации всех известных элементарных частиц. Важнейшими характеристиками элементарных частиц являются *масса, электрический заряд, спин, время жизни.*

Частица, имеющая нулевую массу покоя – *фотон*, который движется со скоростью света. Самая лёгкая частица с ненулевой массой покоя – *электрон*. Масса самой тяжёлой частицы, которую удалось создать в лаборатории (*Z-частицы*) примерно 200 000 раз больше массы электрона. Масса большинства элементарных частиц имеет порядок массы протона, равный $1,7 \cdot 10^{-24}$ г.

Электрический заряд частиц меняется в узком диапазоне и всегда кратен фундаментальной единице заряда (за которую принят заряд протона). Электрон имеет такой же по величине заряд, но противоположного знака.

Спин – это момент импульса частицы. Согласно квантовой механике спин может принимать только дискретные значения, кратные постоянной Планка. По историческим причинам фундаментальная единица для спина выбрана равной $1/2$. Протон, нейтрон и электрон имеют спин $1/2$, спин фотона равен 1. Известны также частицы со спином 0, $3/2$ и 2. Фундаментальных частиц со спином больше 2 не обнаружено. В зависимости от величины спина все элементарные частицы разделены на два класса: частицы, имеющие целый спин 0, 1, 2, называются *бозонами* (в честь индийского физика Бозе), и частицы, имеющие полуцелый спин $1/2$ или $3/2$ – *фермионами* (в честь итальянского физика Э. Ферми).

Важной характеристикой элементарной частицы является её *время жизни*. До недавнего времени считалось, что электроны, протоны, фотоны, а также нейтрино абсолютно стабильны, т.е. имеют «бесконечно большое» время жизни. Нейтрон остаётся стабильным, пока он «заперт» в ядре, однако свободный нейтрон распадается примерно за 15 минут (см. вопрос 4). Все остальные известные частицы в высшей степени нестабильны: время их жизни составляет от 10^{-23} с до нескольких микросекунд. Нестабильные частицы претерпевают распад, представляющий собой квантовый процесс, поэтому в распаде есть элемент непредсказуемости. Например, невозможно предсказать время жизни конкретной частицы. Однако на основе стати-

стических соображений можно узнать среднее время жизни однотипных частиц. В частности, важной характеристикой частиц является *время полураспада*, т.е. время, в течение которого популяция однотипных частиц сокращается наполовину. Уменьшение численности такой популяции происходит по экспоненте, а период полураспада составляет примерно 0,693 от среднего времени жизни.

Ещё один способ 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 неосязаемость, нейтрино занимает особое положение среди других элементарных частиц, так как является наиболее распространённой частицей Вселенной.

10.3. Кварковая природа материи. Теория суперструн

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»). Чтобы учесть все известные тогда адроны, Гелл-Манн и Цвейг ввели три различных типа («аромата») кварков: *u-верхний* (от англ. *up*), *d-нижний* (от англ. *down*) и *s-странный* (от англ. *strange*). Так, протон *p* состоит из двух *u*-кварков и одного *d*-кварка, а нейтрон *n* – из двух *d*-кварков и одного *u*-кварка: $p=(uud)$, $n=(udd)$. Впоследствии были введены ещё три типа кварков: *c* – *очарованный* (от англ. *charmed*), *b* – *прелестный* (от англ. *beauty*) и *t* – *истинный* (от англ. *truth*).

Наука о взаимодействии кварков называется *квантовой хромодинамикой* (от греч. *chromatos* – цвет). Она описывает взаимодействия кварков посредством обмена *глюонами* (квантами полей сильного взаимодействия), которое удерживает кварки внутри соответствующей частицы. Природа этого взаимодействия была выяснена более 20 лет тому назад. Его причиной является то, что, кроме электрического заряда, кварки имеют еще и новый, крайне своеобразный заряд, получивший название *цветного*, который приводит к появлению сил, связывающих кварки в адроны. При обмене глюонами кварки меняют свой цвет, но не аромат. Цвет является главной характеристикой кварка в сильных взаимодействиях, аналогичной электрическому заряду в электромагнитных взаимодействиях. Каждый кварк может находиться в трёх цветовых состояниях: жёлтом, красном, синем. Три кварка, входящие в состав протона или нейтрона, должны иметь разные цвета (*принцип запрета Паули*).

Чтобы теория кварков оказалась действенной, пришлось принять допущение о том, что кварки имеют дробный электрический заряд, величина которого составляет либо $1/3$, либо $2/3$ фундаментальной единицы – заряда электрона. «Ароматам» *u*, *d*, *s* соответствуют заряды $2/3$, $-1/3$, $-1/3$.

Заряд частицы находится как алгебраическая сумма зарядов составляющих его кварков, например, заряд протона *p* получается равным

$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1,$$

а заряд нейтрона *n* равен

$$\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0.$$

Все кварки имеют спин, равный $1/2$ и поэтому относятся к фермионам. Размеры кварков примерно в 10 раз меньше размеров нуклонов (протонов и нейтронов). Кварки скрепляются между собой сильным взаимодействием, но они также способны участвовать и в слабом взаимодействии, которое может поменять «аромат» кварка.

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 счи-

тать 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 состоит не из частиц, а из гипотетических объектов – *струн*. Струны, в отличие от частиц, имеют протяжённость (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.

- Теория суперструн возникла в 60-е гг. XX в. при попытках выяснения внутренней структуры адронов (см. [5]). Оказалось, что кварки, связанные между собой глюонами, в некотором отношении ведут себя подобно нитям или струнам. Основное преимущество струн перед частицами состоит в их поведении при высоких энергиях. При низких энергиях струны ведут себя вполне аналогично частицам. Но при приближении определённому уровню («энергии Планка») начинают «вибрировать». Это резко меняет математическую сторону теории как раз там, где обычная теория даёт сбой и приводит к нежелательным бесконечностям. В одном из вариантов теории суперструн в качестве группы, описывающей калибровочные симметрии, используется удвоенная группа E_8 (обозначается $E_8 \times E_8$). Это может быть интерпретировано как возможность существования двух «параллельных» миров – по одному на каждую группу E_8 . Частицы в каждом из этих миров обладают всеми обычными свойствами, в том числе свойством взаи-

модействия между собой посредством различных сил природы. При этом у частиц «другого мира» будет свой аналогичный набор взаимодействий. Между частицами различных миров нет прямого взаимодействия, кроме гравитационного.

10.4. Фундаментальные взаимодействия в природе

Перейдём теперь от элементарных частиц к их взаимодействиям, т.е. от вещества к полю. Исследуя окружающий нас мир, мы обнаруживаем множество самых разнообразных сил: сила тяжести, сила сжатия пружины, сила сопротивления воздуха, упругая сила пара, сила взрыва, сила трения, сила мышц человека и животных и т. д. Однако когда была выяснена атомная структура вещества, стало понятно, что все эти силы являются результатом взаимодействия атомов друг с другом. Несмотря на внешнее разнообразие сил в природе, существует всего четыре вида основных взаимодействий, которыми обусловлены все происходящие в мире явления. Эти взаимодействия называются *фундаментальными*. К ним относят:

- *гравитационные взаимодействия;*
- *электромагнитные взаимодействия;*
- *сильные взаимодействия;*
- *слабые 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 разными теориями описывается по-разному. 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 (см. тему 9, вопрос 3).

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.

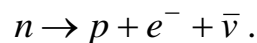
Сильные (ядерные) взаимодействия являются самыми мощными из известных современной физике. Именно сильные взаимодействия удерживают вместе протоны и нейтроны в составе атомного ядра, а порождаемые ими процессы протекают с очень большой интенсивностью, т.е. «сильно». На расстоянии порядка 10^{-13} см ядерные силы действуют как силы притяжения, преодолевающие кулоновские силы отталкивания, возникающие между одноименно 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.

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, дей-

ствующих 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 -распада, является одной из форм радиоактивности). Формула β -распада такова:



Она означает, что нейтрон n превращается в протон p с испусканием электрона e^{-} и антинейтрино $\bar{\nu}$. Преобразование нейтронов в протоны в атомах радиоактивных веществ приводит к их превращению в атомы других элементов, а возникающие в ходе β -распада электроны испускаются в виде мощного излучения.

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.

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 микромира и макромира.

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.

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 взаимодействие; для объектов макромира – электромагнитное; для частиц, входящих в состав атомных ядер, – это сильное и электрослабое (именно эти типы взаимодействий указаны далее 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. Вначале 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.

Тема 11. Концепции самоорганизации. Синергетика

Основные вопросы:

- 11.1. Самоорганизация в живой природе.*
- 11.2. Самоорганизация в неживой природе.*
- 11.3. Синергетика как наука о самоорганизации систем.
Условия и механизмы самоорганизации.*
- 11.4. Неравновесная термодинамика И. Пригожина.
Синергетика Г. Хакена. Концепция самоорганизации М. Эйгена.*

11.1. Самоорганизация в живой природе

В последние десятилетия наблюдается тенденция построения научной картины мира на основе концепции самоорганизации. Если отбросить идеи сотворения природы «высшими силами», то остаётся тезис, что природа возникла в результате процесса самоорганизации материи. Живая природа являет собой ярчайший пример упорядоченной системы исключительно высокого уровня – как в отношении структуры, так и в отношении функционирования. Это положение справедливо и для отдельного организма, и для любой их совокупности. Так, из семени, посаженного в землю, вырастает большое растение со сложной структурой, и весь его организм образуется из бесструктурного вещества (вода, углекислый газ, элементы почвы). Совокупность организмов, обитающих на определенной территории и рассматриваемая вместе с протекающими на ней физико-химическими, биологическими и геологическими процессами, – экосистема – характеризуется, помимо сложной структуры, еще тем, что она обладает высоким уровнем упорядоченности протекающих в ней информационных и вещественно-энергетических процессов.

Базовая теория, объясняющая высокую степень упорядоченности отдельных живых организмов, а также всей живой природы в целом, – эволюционная теория Дарвина. Долгое время считалось, что дарвиновская теория эволюции находится в противоречии со вторым началом термодинамики (см. тему 5, вопрос 4): согласно дарвиновской теории в процессе эволюции непрерывно происходит увеличение упорядоченности живой природы, а согласно второму закону термодинамики энтропия любой системы должна возрастать, следовательно, её упорядоченность должна уменьшаться. Объяснение этого парадокса впервые было дано выдающимся физиком Э. Шредингером в его знаменитой книге «Что такое жизнь? С точки зрения физика», написанной в 1944 г. В ней он объясняет, что второй закон термодинамики относится к *замкнутым* (изолированным) системам; в то же время, живые организмы представляют собой *открытые* системы, которые обмениваются со средой веществом, энергией и информацией. Образно говоря, живые организмы «черпают» упорядоченность из окружающей среды. Весьма важным при этом является тот факт, что, извлекая из среды вещество и энергию, живые организмы выводят в неё продукты распада. Поэтому увеличение упорядоченности живых организмов (а, значит, уменьшение энтропии живой природы) сопровождается уменьшением упорядоченности окружающей среды (и тем самым, увеличением её энтропии). В целом же в системе «живая природа – окружающая среда» происходит рост энтропии в полном соответствии со вторым законом термодинамики, но в отдельных частях этой системы происходит локальное уменьшение энтропии.

11.2. Самоорганизация в неживой природе

Процессы самоорганизации постоянно происходят не только в живой, но и в неживой природе.

Приведём несколько примеров физико-химических опытов, в которых наблюдается спонтанная самоорганизация.

Структурирование однородной вязкой жидкости при возникновении свободной конвекции («ячейки Бенара»)

Рассмотрим некоторый объём вязкой жидкости, заключённый между двумя горизонтальными пластинами. Если подогревать нижнюю пластину, то в этой системе создаётся постоянный температурный градиент. Ввиду действия силы тяжести и выталкивающей архимедовой силы система становится неустойчивой (более лёгкий нижний слой стремится поменяться местами с более тяжёлым верхним – возникает конвекционное движение жидкости). В результате жидкость начинает структурироваться в виде небольших ячеек, называемых *ячейками Бенара*.

Впервые такой эксперимент был проведён в 1900 г. физиком Ч. Бенаром. Он наливал в плоский широкий сосуд ртуть и подогревал сосуд снизу. После того, как разность температур нижнего и верхнего слоёв достигала некоторого критического значения, верхний слой быстро структурировался в виде шестигранных призм с определённым соотношением между длиной стороны и высотой. По сравнению с однородным состоянием совокупность таких конвективных ячеек, очевидно, являются более высокоорганизованной структурой. Образование подобных структур происходит не по причине целенаправленного внешнего воздействия, а за счёт перестройки внутренних связей между элементами системы, приведённой в неравновесное состояние, и поэтому представляет собой пример самоорганизации.

Реакция Белоусова – Жаботинского

В 1951 г. химик Б. Белоусов установил, что можно зрительно наблюдать за ходом некоторых окислительно-восстановительных химических реакций по изменению цвета промежуточных продуктов. Как только исходные вещества сливали в пробирку, раствор начинал периодически менять цветовую окраску.

В 60-х гг. биофизик А. Жаботинский обнаружил множество сходных химических реакций и объяснил их механизм. Периодичность возникновения промежуточных продуктов химических реакций указывает на сходство этих процессов с автоколебаниями, наблюдаемыми в физике, механике, биологии. Автоволны автоматически поддерживают свои физические параметры за счёт энергии среды, в которой они распространяются.

Превращение ламинарного течения жидкости в турбулентное

Это явление можно наблюдать, например, при стоке воды из ванной. При небольшом количестве воды она стекает ламинарно (то есть движется параллельными слоями в направлении течения). При большом количестве воды происходит сильное давление верхних слоёв на нижние, что резко увеличивает скорость стока. Сток теряет устойчивость и входит в вихреобразный режим. Течение из ламинарного спонтанно превращается в турбулентное.

Переход лазера в режим генерации

При накачке энергии лазер работает как обычная лампа, причём микроскопические ячейки подобно антеннам излучают свет независимо друг от друга. При определённом значении энергии антенны начинают работать самостоятельно в одной фазе, что приводит к мощному излучению. Таким образом, здесь происходит скачкообразный переход к новому качественному состоянию.

В приведённых примерах наблюдается общая закономерность: в физических или химических системах из хаотических (неупорядоченных) состояний возникают высокоупорядоченные макроскопические структуры – как пространственные, так и временные, то есть происходит самоорганизация. Таким образом, *в макроскопическом мире* регулярно наблюдаются явления самоорганизации, ведущие к увеличению упорядоченности и, следовательно, к уменьшению энтропии. При этом самоорганизация свойственна как живой, так и неживой природе – нужны лишь подходящие условия для ее проявления.

Интересно отметить, что еще в XIX в. господствующей тенденцией материи считалось стремление к разрушению спонтанно возникающей упорядоченности. Это связано с тем, что в науке XIX в. представления о развитии неживой природы сформировались под влиянием двух классических физических дисциплин – статистической физики и равновесной термодинамики. Обе эти дисциплины имеют дело с изолированными замкнутыми макросистемами, которые не обмениваются с окружающей средой ни веществом, ни энергией.

Сделанный наукой второй половины XX в. акцент на открытые системы, находящиеся в неравновесных состояниях, в корне изменил представления о развитии как неживой, так и живой материи [11–13]. Самоорганизация есть один из возможных путей эволюции системы. Другой возможный путь эволюции системы состоит в ее деградации. Так, если замкнутая физическая система предоставлена самой себе (не подвергается целенаправленным воздействиям со стороны управляющей системы и не получает притока вещества, энергии, информации), то с течением времени ее энтропия – согласно второму началу термодинамики – будет возрастать до тех пор, пока не достигнет своего максимума (говоря проще, система де-

градирует). В рамках статистической физики это означает, что система переходит в наиболее вероятное – равновесное состояние, которое является устойчивым, то есть при возмущениях система вновь возвращается в первоначальное состояние. Это делает систему неспособной к изменениям, приводящим к ее развитию.

В мегамире самоорганизация проявляется в эволюции космических объектов. Постоянно идет геологическая эволюция Земли (она связана с происходящими геохимическими процессами, а также с биологической эволюцией и антропогенными воздействиями); эволюция Солнечной системы; эволюция галактик и всей Вселенной в целом. Каждой ветви эволюции соответствует своя *стрела времени* (термин введен в 30-е гг. XX в. английским астрофизиком А. Эддингтоном): говорят о *геологическом* времени, *гелиологическом* времени, *космологическом* времени. Направленность всех этих стрел времени одинакова (от прошлого – к будущему), однако масштабная шкала у каждой стрелы своя – она определяется длительностью и темпом соответствующего эволюционного процесса.

11.3. Синергетика как наука о самоорганизации систем.

Условия и механизмы самоорганизации

Самоорганизация не связана с какими-либо специфическими объектами. Однако явление самоорганизации может происходить лишь для определённых систем и при выполнении ряда обязательных условий. Выяснением этих условий занимается *синергетика*.

Термин *синергетика* происходит от греческого «*synergeia*», что означает совместное, или кооперативное, действие. Такое название в начале 70-х годов предложил Герман Хакен, один из основоположников этой науки [14]. В настоящее время под синергетикой понимается междисциплинарное научное направление, объединяющей идеей которого является самоорганизация – образование упорядоченных структур в неупорядоченных стохастических системах. В нестрогих терминах синергетика может быть определена как наука о превращении хаоса в порядок.

В отличие от наук, возникших на стыке двух дисциплин (например, физической химии или химической физики), одна из которых предоставляет новой науке предмет, а другая – метод исследования, синергетика опирается на методы, одинаково применимые к различным предметным областям, и изучает сложные системы любой природы. При этом синергетика обращает внимание на те аспекты, которые при традиционном подходе остаются в тени. Например, термодинамика и теория информации изучают статику, в то время как для синергетики основной интерес представляет динамика. Неравновесные фазовые переходы синергетических систем, включающие в себя колебания, пространственно-временные

структуры и хаос, отличаются несравненно большим разнообразием, чем фазовые переходы систем, находящихся в состоянии теплового равновесия. В отличие от кибернетики, занимающейся разработкой методов управления системами, синергетика изучает условия самоорганизации систем при произвольном изменении управляющих параметров. Одна из особенностей синергетических систем – их большая чувствительность к начальным условиям. Даже небольшое различие в начальных условиях в корне может изменить последующую эволюцию системы (так называемый «эффект бабочки», по известному рассказу американского писателя-фантаста Р. Брэдли).

Перечислим условия, при которых происходит самоорганизация: самоорганизация протекает в открытых нелинейных диссипативных системах.

Открытость системы состоит в том, что она обменивается со средой веществом, энергией и информацией. Этот обмен происходит через имеющиеся в системе *источники* или *стоки*.

Нелинейность – отсутствие пропорциональной связи между величиной воздействия и величиной эффекта. Например, слабое воздействие может привести к новому качественному состоянию системы и, наоборот, сильное воздействие может гаситься. Самоорганизующиеся системы сохраняют свою устойчивость при возмущениях среды с помощью механизма отрицательных обратных связей.

Диссипация – рассеивание отработанного вещества или энергии в окружающую среду. Структуры, обладающие этим свойством, называются *диссипативными структурами*.

Явления самоорганизации происходят не в любых состояниях системы, а лишь в тех, которые далеки от равновесных. Состояние называется *равновесным*, если в нём нет переноса массы, энергии, температуры, заряда и т.п. Под влиянием внешних воздействий система может переходить из одного равновесного состояния в другое, при этом самоорганизации не возникает. Источником возникновения упорядоченности системы является неравновесность – именно она позволяет системе преобразовывать энергию внешней среды в упорядоченную диссипативную структуру.

Как происходит этот процесс? Когда система находится в неравновесном, неустойчивом состоянии, малые флуктуации (то есть случайные отклонения некоторых величин, характеризующих систему, от средних значений) усиливаются по типу положительной обратной связи и превращаются в макроскопические. Это достигается за счёт согласованных совместных действий отдельных элементов системы (явление *когерентности*), которые проявляются в масштабе всей системы. Устойчивые коллективные формы поведения частей системы называются *модами*. Между мо-

дами возникает конкуренция, в результате которой происходит отбор наиболее предпочтительных. Так хаос превращается в порядок.

Одно из ключевых понятий синергетики – понятие *аттрактора* (от англ. *attraction* – притяжение). Аттрактор – это точка притяжения системы, которая «притягивает» к себе всевозможные траектории системы, определяемые различными начальными условиями. Например, при сливе воды в ванной аттрактором будет отверстие, к которому сходятся все траектории частиц выпускаемой воды.

Когда самоорганизующаяся система находится вдали от равновесия, она может «приспособиться» к своему окружению разными способами. Состояния, в которых система «выбирает свою дальнейшую судьбу», называются *точками бифуркации* (точками ветвления). В точке бифуркации невозможно предсказать дальнейшее поведение системы: имеется лишь спектр определенных возможностей, но нет указания – по какому пути система должна следовать дальше. Выбор дальнейшей траектории системы непредсказуем, ибо он определяется совместным действием большого числа случайных факторов. В результате случайных блужданий под воздействием флуктуаций система попадает «в область притяжения» одной из возможных траекторий, скачком переходит на неё («подключается» к новому аттрактору) и движется по этой траектории до следующей точки бифуркации. В то же время при движении между двумя точками бифуркации система развивается по «детерминистскому сценарию» и её поведение является относительно устойчивым и предсказуемым.

11.4. Неравновесная термодинамика И. Пригожина.

Синергетика Г. Хакена.

Концепция самоорганизации М. Эйгена

В 60–70-е гг. XX в. бельгийский учёный русского происхождения Илья Романович Пригожин разработал теорию диссипативных структур в рамках *неравновесной термодинамики*. В классической термодинамике рассматриваются системы, находящиеся в состояниях, близких к термодинамическому равновесию. И. Р. Пригожин вместе с группой своих сотрудников изучал колебательные химические реакции, связанные с периодическими изменениями концентрации участвующих в них веществ. Возникающие при этом структуры, далёкие от равновесных, были названы Пригожиным *диссипативными структурами* [15, 16]. Диссипативные структуры возникают в условиях постоянного притока энергии, которую они используют для поддержания и роста своей внутренней организации, причём происходит также рассеивание (диссипация) отработанной энергии в окружающую среду. Если в диссипативную структуру из среды поступает достаточное количество энергии, то микроскопические флуктуации, вме-

сто того чтобы затухать, усиливаются, превращаются в макроскопические; в результате диссипативная структура эволюционирует в направлении спонтанной самоорганизации.

В конце 60-х гг. профессор Штутгартского университета Герман Хакен, занимающийся физикой лазеров, предложил свою концепцию самоорганизации, в которой ключевым является понятие *кооперативного поведения* (см. [14]). При постоянном поступлении извне энергии разнонаправленные и несогласованные случайные действия, характерные для состояния хаоса, при некоторых критических значениях параметров системы приобретают коллективный, согласованный характер. Примеры коллективного поведения: самоорганизация атомов в узлах кристаллической решётки; когерентное излучение атомов в рабочем веществе лазерной установки при «накачке» энергии; образование циклонов в атмосфере; образование вихрей в текущей жидкости, порождающих турбулентность. Согласованное поведение, проявляющееся в масштабе всей системы, является центральным моментом самоорганизации.

В 1971 г. немецкий учёный Манфред Эйген, работающий в области молекулярной биологии, пришел к заключению, что при благоприятных условиях среды сложные органические молекулы оказываются способными к самовоспроизведению и усложнению организации на предбиологическом уровне [17]. М. Эйген обнаружил так называемые *циклические типы* организации химических реакций, которые являются более совершенными по своим термодинамическим и кинетическим характеристикам, чем цепочечные. Основным понятием в теории Эйгена является понятие «гиперцикла» – упорядоченного определённым образом набора циклов.

Гиперциклы обладают рядом уникальных свойств, порождающих «дарвиновское» поведение системы (то есть организованное по принципу естественного отбора). А именно:

1) гиперцикл конкурирует с любой самовоспроизводящейся единицей, не являющейся его членом;

2) гиперцикл не может стабильно сосуществовать с другими гиперциклами, не объединенными с ним в автокаталитический цикл более высокого порядка;

3) гиперцикл обладает интегрирующими свойствами, объединяя отдельные единицы в систему, способную к согласованной эволюции, где преимущества одного индивида могут использоваться всеми ее членами.

Благодаря работам М. Эйгена возникает последовательная концепция предбиологической молекулярной эволюции, в которой идеи дарвиновского отбора распространяются на популяции макромолекул.

Тема 12. Научная картина мира

Основные вопросы:

12.1. *Понятие о научной картине мира.*

Физическая картина мира и ее эволюция.

12.2. *Структурные уровни организации материи. Макромир.*

12.3. *Природа микромира.*

12.4. *Структура мегамира.*

12.1. Понятие о научной картине мира.

Физическая картина мира и ее эволюция

Картина мира – это комплекс основных представлений о природном и социальном универсуме, который существует в общественном сознании данной эпохи. Эти представления складываются как на базе научных познаний, так и под влиянием общественной практики. Наиболее широкое представление о мире дает *научная картина мира*, которая формируется в результате философского осмысления данных отдельных наук и должна дать ответ на вопрос – что же представляет собой окружающий нас мир в целом. В рамках научной картины мира обсуждаются проблемы философской сущности пространства, времени, материи, движения, гносеологическом статусе этих понятий и их взаимоотношениях между собой.

Естественные науки формируют *естественнонаучную картину мира*, разрабатывая и углубляя указанные философские категории с помощью своего понятийного аппарата и своей методологии. Построение естественнонаучной картины мира является одной из глобальных задач естествознания. В рамках естественнонаучной картины мира выделены основные формы существования материи – вещество и поле. При этом способами существования материи являются взаимодействие и движение. Для всякого материального объекта «существовать» означает «взаимодействовать с другими материальными объектами». Так как все физические, химические, биологические, геологические процессы и явления прямо или косвенно связаны с такими характеристиками, как размеры, протяженность, длительность, то описание этих явлений в отдельных дисциплинах естествознания приводит к необходимости создания естественнонаучных концепций пространства и времени.

Наиболее разработанной является *физическая картина мира*, которая сложилась в самой развитой из естественных наук – физике. Это не случайно: физика изучает наиболее элементарные и, вместе с тем, наиболее общие законы природы, лежащие в основе мироздания. Хотя выражение «физическая картина мира» употребляется достаточно давно, лишь в последние десятилетия оно стало рассматриваться не только как некий

«итог» развития физического знания, но и как самостоятельный вид знания. Ряд принципов, сформировавшихся в физике: *атомизм, относительность, симметрия, квантование, корпускулярно-волновой дуализм, законы сохранения, фундаментальные взаимодействия* – приобрели концептуальный характер и стали неотъемлемой составной частью научной картины мира.

Физическая картина мира не является застывшей, она эволюционирует, причём весьма динамично. Первый «вариант» физической картины мира был реализован в форме *механистической картины мира*. Основной вклад в формирование механистической картины мира внесли Декарт, Галилей и Ньютон (см. тему 4). В рамках механистической картины мира природа рассматривалась как сложная механическая система. Механицизм сводит всё качественное многообразие мира к механическому движению однородных частиц материи, а все закономерности природы пытается объяснить действием сил природы, которые описываются законами механики. Механистический подход к исследованию мира оказался исключительно плодотворным. Однако не все природные явления удалось объяснить в рамках механики. К числу таковых относятся, в частности, электромагнитные явления. Было обнаружено, что электромагнитные взаимодействия, играющие исключительно важную роль и весьма широко распространённые в природе, не являются механическими и не подчиняются законам Ньютона (см. тему 6, вопрос 2). Осмысление явления электромагнетизма привело к появлению в естествознании электромагнитной (полевой) картины мира. Ключевым в ней является тезис о том, что основной формой существования материи является поле. Следующий важнейший вопрос – проблема взаимодействия. В рамках механистической картины мира взаимодействие вызывалось силой, действующей мгновенно и через пустоту, а в электромагнитной картине взаимодействие электрически заряженных частиц осуществляется с помощью непрерывной среды – электромагнитного поля – и происходит с конечной скоростью. Если в механистической картине мира взаимодействие сводилось к движению и понималось как механическое перемещение, то в электромагнитной картине мира взаимодействие стало пониматься как распространение колебаний в поле, которое описывается не законами механики, а законами электродинамики.

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*.

Самые «фундаментальные сущности бытия» – понятия пространства и времени, казавшиеся незыблемыми со времён Ньютона, – подверглись коренному пересмотру в результате созданной А. Эйнштейном теории от-

носительности. Сформировавшаяся в рамках теории относительности картина мира называется *релятивистской картиной мира*.

Эволюция физической картины мира привела к изменению методологии познания природы. В частности, после создания квантовой теории был подвергнут сомнению тезис причинности, а также основополагающий постулат о возможности полного разделения субъекта и объекта (см. тему 5, вопрос 1). Впоследствии это привело к отказу от классического идеала науки как «абсолютной истины на все времена».

12.2. Структурные уровни организации материи. Макромир

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, представленную в табл. 1. В классическом естествознании считалось, что микро-, макро- и мегамиры 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.

Человек и все окружающие его в повседневной жизни предметы (естественного и искусственного происхождения) – это *макроскопические тела*. Они 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 де-

сятков градусов. Также исключительно узкими являются диапазоны непосредственного восприятия размеров, времени, скорости, массы, энергии.

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

Таблица 1

Структурно-масштабная иерархия

№	Структура	Взаимодействие	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	

Комментарии к табл. 1.

1. В первой колонке таблицы указан тип структуры, во второй – тип фундаментального взаимодействия (см. тему 10, вопрос 4), 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.

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.

Расширение и углубление научных представлений о мире обуславливается двумя основными факторами: прогрессом техники, приводящим к новым возможностям наблюдений за природой, и развитием абстрактного мышления. Современная наука оперирует представлениями и понятиями, которые давно отделились от наглядных образов макроскопического мира.

12.3. Природа 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.

Молекулы построены из атомов. До XIX века считалось, что атомы – мельчайшие неделимые «крупички» материи. В конце XIX века было установлено, что атом делим – он состоит из электронов и ядра, причём ядро атома само обладает сложной структурой. Оказалось, что ядро атома состоит из протонов (положительно заряженных частиц), а также электрически нейтральных частиц – нейтронов. В «нормальном» атоме любого химического элемента число электронов равно числу протонов и совпадает с номером этого элемента в периодической системе Менделеева. Так как заряды электрона и протона равны по величине и противоположны по знаку, то в целом атом электрически нейтрален. Если же атом «теряет» или «приобретает» электрон, то он становится положительно или отрицательно заряженным *ионом*.

Ядра атомов одного и того же химического элемента, имея одно и то же число протонов, могут отличаться числом нейтронов (изотопы). Почти вся масса атома сосредоточена в его ядре, в то же время ядро атома составляет приблизительно одну стотысячную часть самого атома (размер

атома – порядка 10^{-8} см, а ядра – порядка 10^{-13} см). На электроны приходится весьма незначительная часть общей массы атома, но именно они придают веществам свойство жёсткости и образуют необходимые связи молекулярных структур, что определяет химические свойства веществ.

После того, как была выяснена структура атомов и стали известны законы распределения и движения электронов внутри атомов, появились первые гипотезы об участии электронов в образовании химической связи. В самых общих чертах химическую связь можно объяснить как результат коллективизации электронов, находящихся в наиболее удаленных от своих ядер оболочках (так называемых *валентных* электронов).

Протоны и электроны относятся к так называемым *стабильным частицам*, т.е. не распадаются самостоятельно на другие частицы. Нестабильные частицы (которые образуются в космическом пространстве или в лабораторных условиях), очень быстро распадаются до тех пор, пока из них не образуются стабильные частицы. Из этих устойчивых единиц и состоят все материальные тела.

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 [18]. «Согласно представлениям о строении вещества и теории поля, материальная частица, например, 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».

Квантовая механика 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.

12.4. Структура мегамира

Мегамир – это мир космических тел. Основной структурной единицей мегамира является *звезда*. Скопления звёзд называются *галактиками*.

Первая особенность мегамира – его масштаб и гигантские расстояния между его объектами. Для измерения космических расстояний в качестве единицы используется *световой год*. Это расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью 300 000 км/с, проходит в течение одного года. 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. Один парсек равен 3,26 световых года, что составляет примерно $3,084 \cdot 10^{13}$ км.

Наша Галактика (т.е. галактика, к которой принадлежит Солнце), по форме похожа на диск, диаметр которого 100 тыс. световых лет, а толщина – около 1,5 тыс. световых лет. Расстояние от нас до ближайшей галактики – Магеллановы облака – около 200 тыс. световых лет. Из галактик, видимых невооруженным глазом, самая далекая от нас – туманность в созвездии

дии Андромеды (расстояние до нее около 1800 тыс. световых лет). Но это всё близкие к нам галактики. До далёких галактик расстояния возрастают многократно, например, расстояние до радиогалактики ЛебедьА составляет 600 млн световых лет.

Совокупность всех известных (т.е. наблюдаемых средствами наблюдательной 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 в известной нам части Вселенной. В целом на все элементы тяжелее гелия приходится 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.

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 законах. И все же, несмотря на это, микро-, макро- и мегамир образуют целостное единство, которое и есть окружающий нас мир.

В заключение темы отметим, что микро- и мега-масштабы не имеют абсолютного характера: они определяются уровнем развития науки, соответствующим 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).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ КО ВТОРОМУ РАЗДЕЛУ

1. Капра Ф. Дао физики. СПб. : ОРИС, 1994.
2. Григорьев В. И., Мякишев Г. Я. Силы в природе. М. : Наука, 1988.
3. Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И. Уставы небес. М. : Айрис Пресс, 2004.
4. Горелик Г. Е. Почему пространство трёхмерно? М. : Наука, 1982.
5. Дэвис П. Пространство и время в современной картине Вселенной. М. : Мир, 1979.
6. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М. : Наука, 1965.
7. Дыбов А. М., Иванов В. А. Концепции современного естествознания. Ижевск : Издат. дом «Удмуртский университет», 1999.
8. Брайсон Б. Краткая история почти всего на свете / пер. с англ. М. : Гелеос, 2007.
9. Фейнман Р. Характер физических законов. М. : Наука, 1967.
10. Зимин А. И. Концепции современного естествознания: вопросы и ответы. М. : Издат. дом «Юриспруденция», 2007.
11. Баранцев Р. Г. Синергетика в современном естествознании. М. : УРСС, 2003.
12. Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. М. : УРСС, 2003.
13. Трубецков Д. И., Мчедлова Е. С., Красичков Л. В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. М. : Физматлит, 2002.
14. Хакен Г. Синергетика / пер. с англ. М. : Мир, 1980.
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. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М. : Мир, 1973.
18. Вейль Г. О философии математики. М. : Гостехиздат, 1934.

Раздел третий

**Современные представления
о происхождении, структуре
и эволюции Вселенной**

Тема 13. Общая картина Вселенной

Основные вопросы:

13.1. Солнечная система.

13.2. Солнце – ближайшая к нам звезда.

13.3. Гипотезы и современные представления о происхождении Солнечной системы.

13.4. Наша Галактика. Другие галактики. Межгалактическое пространство.

13.1. Солнечная система

Обзор картины Вселенной естественно начать с нашей Земли. Земля – одна из девяти планет Солнечной системы, третья по удалённости от Солнца. Ближе к Солнцу, чем Земля, находятся две планеты – Меркурий и Венера; далее в порядке возрастания удалённости от Солнца следуют: Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Земля находится в 40 раз ближе к Солнцу, чем Плутон и в 2,5 раза дальше, чем Меркурий [1]. Расстояния от планет до Солнца образуют закономерную последовательность: по мере удаления от Солнца промежутки между орбитами увеличиваются (рис. 13).

- Существует простое эмпирическое правило (предложенное еще в конце XVIII в. немецкими учеными И. Тициусом и И. Боде), для нахождения расстояний от планет до Солнца. Оно состоит в следующем. Возьмем последовательность чисел: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, образующую, начиная со второго члена, геометрическую прогрессию со знаменателем 2. Если к каждому члену этой последовательности прибавить число 4 и затем все числа поделить на 10, то числа полученной последовательности представляют с точностью до 3% выраженные в астрономических единицах расстояния от Меркурия, Венеры, Земли, Марса, средней части кольца малых планет, Юпитера, Сатурна, Урана и Плутона до Солнца (планета Нептун выпадает из этой зависимости). Удовлетворительного теоретического объяснения данного эмпирического правила пока не найдено.

Кроме планет, в Солнечную систему входят их спутники, а также множество более мелких образований – астероидов и комет (следует заметить, что деление малых небесных тел на астероиды и кометы достаточно

условно). Большинство орбит астероидов сконцентрировано в поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера на расстояниях от 2,0 до 3,3 астрономических единиц от Солнца; имеются, однако, астероиды, чьи орбиты лежат ближе к Солнцу. К настоящему времени открыто и описано несколько сотен тысяч астероидов, но лишь 26 из них превышают 200 км в диаметре. Крупнейший из астероидов – Церера (933 км в диаметре и 25% их общей массы). Три следующих по величине – Паллада, Веста и Гигея – от 400 до 525 км, остальные имеют размер менее 340 км. Из астероидов диаметром свыше 100 км предположительно известно 99%, от 10 до 100 км – примерно половина. Астероидов размером около 1 км имеется порядка миллиона, однако общая масса всех известных астероидов меньше массы Луны.

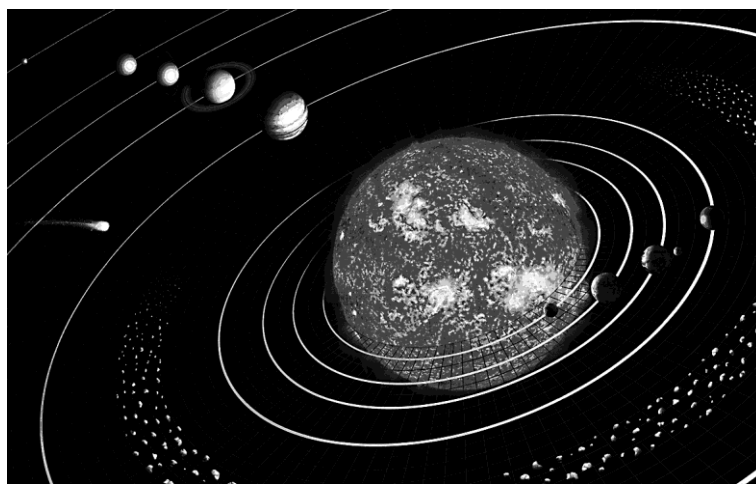


Рис. 13

Все планеты движутся согласно первому закону Кеплера по эллипсам, в одном из фокусов которого находится Солнце. Вытянутость эллиптической орбиты характеризуется эксцентриситетом, который всегда заключён между 0 и 1: чем меньше эксцентриситет эллипса, тем ближе он к окружности. Эксцентриситет земной орбиты близок к нулю (он равен 0,017); таким образом, орбита Земли почти круговая. Наибольший эксцентриситет имеют орбиты Меркурия (0,21) и Плутона (0,25). Все планеты движутся в одну и ту же сторону по своим орбитам, лежащим почти в одной и той же плоскости (*плоскости эклиптики*). Угол, под которым плоскость орбиты планеты наклонена к эклиптике, называется *наклоением*; эти углы очень невелики и наибольших значений достигают у крайних планет – Меркурия и Плутона.

По своим основным параметрам: размерам, массе, средней плотности, близости к Солнцу планеты разделены на две группы: планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты типа Юпитера (остальные). С ростом диаметра планет земной группы растёт их плотность;

Луна имеет плотность $3,3 \text{ г/см}^3$, Меркурий, Марс, Венера – около 4 г/см^3 , Земля – около $5,5 \text{ г/см}^3$.

Самые большие планеты Солнечной системы – Юпитер и Сатурн (диаметр Юпитера превосходит земной в 13 раз, диаметр Сатурна – в 9 раз). К группе планет-гигантов относятся также Уран и Нептун. У всех четырёх планет-гигантов средняя плотность мала (близка к плотности воды, а у Сатурна даже ниже). Все планеты-гиганты окружены плотными облачными атмосферами, которые состоят, главным образом, из метана и аммиака. Присутствие этих газов на больших планетах объясняется их низкой температурой (-100°C и ниже).

13.2. Солнце – ближайшая к нам звезда

Ближайшая к нам звезда – Солнце – находится от Земли на среднем расстоянии $R = 149\,600\,000 \text{ км}$ (с возможной ошибкой около 500 км). Это расстояние принимается за *астрономическую единицу*. Угол, под которым Солнце наблюдается с Земли, составляет $0,5^\circ$. Отсюда, зная расстояние от Земли до Солнца, легко найти радиус Солнца – он равен 696 тыс. км , т.е. в 109 раз больше радиуса Земли. Объём Солнца превышает объём Земли в $10^3 \approx 1\,300\,000$ раз.

Исключительно важную роль для «функционирования» Солнечной системы имеет масса Солнца. Масса Солнца может быть найдена следующим образом. По расстоянию от Земли до Солнца и известному времени обращения Земли вокруг Солнца (1 год) находится скорость V орбитального движения Земли – она равна около 30 км/с . Зная скорость V орбитального движения и радиус орбиты R , определяем величину центростремительного ускорения $a = V^2 / R$. Пусть m – масса Земли, M – масса Солнца, тогда по закону всемирного тяготения сила тяготения между Землёй и Солнцем равна $G \frac{mM}{R^2}$, где G – гравитационная постоянная. По второму закону

Ньютона составим уравнение

$$\frac{mV^2}{R} = G \frac{mM}{R^2}, \quad (13.1)$$

откуда, сокращая на m , находим массу Солнца $M = \frac{RV^2}{G}$.

Масса Солнца приблизительно равна $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, а средняя плотность солнечного вещества составляет $1,4 \text{ г/см}^3$. Подавляющая часть массы Солнечной системы (749/750) содержится в Солнце.

Ещё одна важная характеристика Солнца – его *светимость*, т.е. количество энергии, излучаемой Солнцем в единицу времени. Энергия, кото-

рую получает от Солнца каждый квадратный сантиметр земной поверхности, расположенный перпендикулярно солнечным лучам, называется *солнечной постоянной*. Умножив солнечную постоянную на полную поверхность сферы, радиус которой равен расстоянию от Земли до Солнца, найдём светимость Солнца L : $L = 4 \cdot 10^{26}$ Вт. В целом Земля получает менее одной миллиардной части этой энергии.

Видимая нами поверхность Солнца – *фотосфера*. Температура поверхности фотосферы – понятие достаточно условное, так как к нам доходят лучи Солнца с разной его глубины, и чем глубже внутрь Солнца, тем выше температура его слоёв. Таким образом, температура фотосферы Солнца есть усреднённая температура его внешних слоёв. Её можно определить, например, по распределению энергии в непрерывном спектре излучения фотосферы. Он близок к спектру излучения абсолютного чёрного тела при температуре 6000°C – её и принимают за температуру солнечной фотосферы (и иногда называют температурой Солнца).

Хотя фотосфера состоит из разреженных газов, она окружена ещё более разреженной *солнечной атмосферой*, которая нагрета до нескольких тысяч градусов. По спектру можно определить химический состав Солнца, точнее, состав солнечной атмосферы. Она содержит около 80% водорода, около 18% гелия и около 2% других химических элементов (в том числе кислород, азот, магний, кремний, углерод, кальций, железо).

Главным источником энергии Солнца являются происходящие в его недрах ядерные реакции. При этом масса частиц, участвующих в этих реакциях, уменьшается, а освободившаяся энергия излучается в космическое пространство. Зная интенсивность излучения Солнца, можно найти уменьшение его массы: ежеминутно масса Солнца уменьшается примерно на 4 млн т, которые превращаются в излучение. Однако обнаружить это уменьшение массы Солнца практически невозможно, ввиду того, что оно составляет ничтожную долю от общей массы Солнца (например, за последние 3 млн лет Солнце потеряло только $1/7500$ часть своей массы).

Ядерные реакции происходят в ядре Солнца, где температура достигает 16 млн градусов. Радиус зоны, где вырабатывается энергия при ядерных реакциях, составляет около 200 тыс. км.

Солнечная энергия является важнейшим условием для возникновения и поддержания жизни на Земле. *Автотрофы* – зеленые растения – синтезируют необходимые для своей жизнедеятельности органические вещества из углекислого газа и воды благодаря энергии солнечного излучения (процесс фотосинтеза). *Гетеротрофы* питаются готовыми органическими соединениями, синтезированными автотрофами. Таким образом, за счет энергии электромагнитного излучения Солнца происходит поддержание высокой степени упорядоченности всего живого на Земле. Интересно отметить, что на создание органического мира (фотосинтез) уходит все-

го 0,8% солнечной энергии, достигающей поверхности Земли; при этом 30% солнечной энергии отражается в мировое пространство, а 69% идет на нагрев поверхности Земли и испарение воды, обеспечивая геологический круговорот. Используемые людьми основные источники энергии своим происхождением также обязаны Солнцу: уголь, нефть, газ представляют собой по существу солнечный свет, накопленный и законсервированный в растениях миллионы лет назад, а энергия ветра и рек есть результат теплового воздействия Солнца на атмосферу и гидросферу Земли.

13.3. Гипотезы и современные представления о происхождении Солнечной системы

Вопрос происхождения Солнечной системы имеет не только перво-степенное значение для астрономии, но также носит мировоззренческий характер. Однако эта проблема ещё далека от своего окончательного решения.

Ещё в середине XVIII века немецкий философ Кант отверг идею творения и высказал мысль об эволюции небесных тел, происходящей в силу естественных законов природы. Через несколько десятилетий более строгую теорию образования Солнца и планет разработал французский математик и астроном Лаплас. В дальнейшем высказанные Кантом и Лапласом идеи о происхождении Солнечной системы вошли в астрономию под названием «гипотезы Канта – Лапласа». Несмотря на то, что и Кант, и Лаплас исходили из одних и тех же предпосылок, в ряде вопросов их теории резко отличались. Так, оба они считали, что Солнечная система возникла из обширной туманности, причём Кант рассматривал её как огромную массу хаотически движущихся частиц, а Лаплас – как вращающуюся систему. Далее, Кант исходил из развития холодной пылевой туманности, при которой вначале возникло центральное массивное тело – будущее Солнце, а потом – планеты. Лаплас полагал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием тяготения, туманность согласно закону сохранения момента импульса вращалась всё быстрее, и из-за больших центробежных сил от неё последовательно отделялись кольца. В дальнейшем эти кольца конденсировались, образуя планеты. Таким образом, по гипотезе Лапласа планеты образовались *раньше* Солнца.

Уже в середине XIX века стало ясно, что гипотеза Лапласа сталкивается с непреодолимой трудностью, связанной с законом сохранения момента импульса. Действительно, хотя суммарная масса всех планет Солнечной системы составляет всего 1/750 солнечной массы, однако с учётом больших расстояний от планет до Солнца и малой скорости вращения Солнца, получается, что 98% всего момента импульса Солнечной системы

приходится на планеты и только 2% на Солнце (при этом большая часть момента импульса сосредоточена в орбитальном движении Юпитера и Сатурна). Этот факт невозможно объяснить в рамках гипотезы Лапласа, так как при «отделении» колец от основной туманности их суммарный момент импульса был значительно меньше, чем момент импульса оставшейся туманности.

На смену гипотезе Лапласа стали выдвигаться другие. В первой трети XX века английский астрофизик Джинс предположил, что материя, из которой образовались планеты, была выброшена из Солнца при случайном прохождении вблизи него некоторой звезды. Таким образом, нарисованная им картина полностью противоположна картине Канта – Лапласа: вместо закономерного процесса эволюции от простого к сложному, образование планетных систем представляется как случайное и притом чрезвычайно редкое явление. Кроме того, гипотеза Джинса страдает тем же недостатком, что и гипотеза Канта – Лапласа: она вступает в противоречие с законом сохранения момента импульса. Наконец, расчёты астрофизиков показали, что выброшенная из Солнца при «столкновении» с другой звездой струя газа не может сконденсироваться в планеты.

В 1947–1959 гг. советский учёный О. Ю. Шмидт выдвинул гипотезу образования Земли и других планет Солнечной системы, согласно которой Солнце, проходя по Галактике через газопылевую туманность, захватило её часть своим притяжением. Из «захваченного» вещества и образовались планеты Солнечной системы (при таком «сценарии» никакого противоречия с законом сохранения импульса не возникает). По гипотезе Шмидта Земля и другие планеты земной группы первоначально были холодными. В дальнейшем путём гравитационной дифференциации вещества произошло расслоение земного шара, в результате чего Земля разделилась на геосферы различной плотности (средняя плотность земного шара равна $5,5 \text{ г/см}^3$, плотность поверхностных слоёв – $2,5\text{--}3,0 \text{ г/см}^3$, плотность ядра – $8\text{--}11 \text{ г/см}^3$). Согласно Шмидту, первоначально холодная Земля заключала в своём составе радиоактивные элементы, которые при своём распаде служили источником энергии. Под действием этой энергии Земля постепенно расплавлялась, причём твёрдой оставалась только её внешняя оболочка – земная кора. Гипотеза О. Ю. Шмидта даёт объяснение процесса образования планет Солнечной системы, но не самого Солнца, причём она разработана, главным образом, для планет земной группы.

По современным воззрениям Солнце и все планеты Солнечной системы образовались примерно в одно и то же время. Об этом свидетельствует, в первую очередь, сходство химического состава Солнца и планет Солнечной системы, а для этого необходима некоторая единая общая среда. Считается, что ядерная эволюция вещества Солнца и планет имела общую судьбу до определенного этапа развития. Этот переломный этап на-

ступил около 5 млрд лет тому назад: первичная массивная звезда – прародительница Солнечной системы – разделилась на первичное Солнце и околосолнечное вещество. Вокруг первичного Солнца, в пространстве, близком к плоскости экватора, возникла дискообразная газовая туманность – именно такая ее форма наиболее правдоподобно объясняет последующее расположение планетных орбит в плоскости, близкой к плоскости экватора Солнца. Далее эта туманность охлаждалась, в ней происходили различные химические процессы, причем внутренние части ее первоначальной конденсации привели к образованию Солнца, а внешние – к образованию планет; именно по этой причине далекие планеты обладают большим моментом импульса. В охлаждающейся туманности слипание частиц началось тогда, когда конденсация железно-никелевых капелек уже завершилась, а конденсация силикатных только началась. Горячие и уже отвердевшие капли легко сливались в растущие компактные массы ввиду своей высокой теплопроводности.

Для планет, в состав которых вошли вещества из всего спектра – от металлов до газов – картина их образования имеет следующий вид: вначале из металлов образовалось ядро планеты; затем на него осаждались силикаты и другие химические соединения; самые верхние горизонты сформировались от осаждения гидратированных силикатов и других, более летучих веществ.

Вблизи Солнца остывание первичного газа происходило медленнее, поэтому расположенные ближе к Солнцу внутренние планеты образовались преимущественно из вещества, обогащенного металлическим железом, которое в условиях высоких температур не окислялось (это объясняет наличие у таких планет массивных металлических ядер). Дальше, за орбитой Марса формировались родоначальные тела метеоритов. Внешние планеты – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун – возникли из веществ, остывших и сконденсировавшихся в последнюю очередь.

13.4. Наша Галактика. Другие галактики. Межгалактическое пространство

Та галактика, к которой принадлежит Солнце, называется Галактикой (с большой буквы); скопление звезд Галактики мы наблюдаем как Млечный Путь. Всего в Галактике насчитывается около 150 млрд звезд. Основная часть звезд 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 объем порядка 357 кубических световых лет, а среднее расстояние между звездами составляет 9,5 световых лет (что демонстрирует большую изолированность звезд друг от друга). Большинство звезд Галак-

тики – это карлики 14–15 абсолютной звёздной величины. 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 двадцати таких оборотов.

Идею о том, что Млечный Путь не исчерпывает всех звезд и о существовании звездных систем за пределами Галактики впервые высказали астрономы и философы в XVIII веке: Э. Сведенборг в Швеции, И. Кант в Пруссии, Т. Райт в Англии. Однако еще в начале 20-х годов прошлого века известной считалась только одна – наша Галактика, а остальной космос рассматривался либо как часть Млечного Пути, либо как скопления газа и туманностей. Лишь в первой четверти XX в. было установлено существование других галактик. В 1918 г. эстонский астроном Э. Эпик, определив расстояние до туманности Андромеды, обнаружил, что она не может быть частью Млечного Пути. Измерения, которые провели в 20-е годы американские астрономы Г. Кертис и Э. Хаббл, однозначно доказали, что расстояния до наиболее ярких, а значит, ближайших «белых туманностей» значительно превосходят размеры нашей Галактики. В 1924 г. Эдвин Хаббл опубликовал свою статью «Цефеиды в спиральных туманностях», где показал, что Вселенная состоит из большого числа отдельных галактик (образно называемых иногда «островами Вселенной»). Э. Хаббл составил простую классификацию галактик, разбив их на три типа: *эллиптические, спиральные и неправильные*. Эта классификация используется до настоящего времени. Сегодня астрономы оценивают число галактик в видимой Вселенной в сотни миллиардов.

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 [2].

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; 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. К. Однако большая часть межзвёздной среды удалена от звёзд, и её температура порядка 100 К. 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.

Масса межзвёздного газа в нашей Галактике близка к миллиарду Солнечных масс и составляет несколько более 1% от полной массы Галактики, образуемой, главным образом, звёздами. В других звёздных системах относительное содержание межзвёздного газа меняется в широких пределах: у эллиптических галактик оно составляет менее 0,01%, в то время как у неправильных доходит до 50%.

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.

Концепция Метагалактики как системы галактик и скоплений галактик, сложившаяся в середине XX века, в настоящее время получила мощный импульс для своего развития благодаря внедрению новых крупных телескопов с электронными усилителями света, автоматических измерительных машин и компьютеров. За несколько десятилетий, прошедших после Второй Мировой войны, астрономы сделали ряд важнейших открытий. В 1963 г. были открыты наиболее удаленные от нас квазизвездные объекты – *квазары*. Их главной особенностью является огромная светимость, которая в сотни раз превышает светимость наиболее ярких галактик. Отдельные квазары удаляются от нашей Галактики со скоростями порядка 280 тыс. км /с, что составляет 0,9 скорости света. Обнаружение радиоизлучения нашей и других галактик привело к открытию радиогалактик, а также других проявлений активности в ядрах галактик.

Наблюдения, произведённые в начале 1990-х годов на космическом телескопе «Хаббл», привели к важному выводу о том, что темная материя в нашей Галактике не может состоять только из очень слабых и малых звёзд. Все эти факты открывают новые возможности для изучения Вселенной.

Тема 14. Жизнь звёзд во Вселенной

Основные вопросы:

- 14.1. Основные характеристики (параметры) звёзд.
- 14.2. Диаграмма спектр-светимость. Источник энергии звёзд.
- 14.3. Процесс рождения звезды и её эволюция в период стабильности.
- 14.4. Эволюция звёзд большой массы. Сверхновые звезды. Нейтронные звёзды. Чёрные дыры.

14.1. Основные характеристики (параметры) звёзд

Основным объектом Вселенной являются звёзды и их скопления – галактики. В настоящее время астрономы лучше представляют себе жизнь звёзд, чем жизнь планет: дело в том, что число известных планет насчитывается единицами, а число звёзд измеряется миллиардами и их наблюдение ведётся на разных стадиях эволюции. Разработка теории строения и эволюции звёзд явилась одним из крупнейших достижений астрономии второй половины XX века. Рассмотрим основные характеристики звёзд [2–4].

Химический состав звёзд. На первый взгляд может показаться, что для определения состава звезды необходимо «добыть» хотя бы кусочек её вещества, а так как звёзды находятся на огромных расстояниях от нас, то сделать это невозможно. (Любопытно отметить, что так считали некоторые учёные, например, известный философ Огюст Конт.) Однако оказывается, что химический состав звезды может быть весьма точно определён по излучаемому ею свету. Этот метод называется *спектральным анализом*. Каждое вещество, находящееся в газообразном состоянии, светится особым, только ему присущим светом. При разложении света с помощью призмы получается набор цветных линий – линейчатый спектр, причём по спектру можно точно определить состав светящегося газа и даже наличие в нём примесей, составляющих одну стотысячную долю от общего количества. Методом спектрального анализа был выяснен химический состав звёзд и Солнца, он оказался приблизительно одинаковым. Звёзды состоят в основном из водорода (80–85%) и гелия (12–18%); они содержат также азот, кислород, углерод, серу, кремний, железо и некоторые другие элементы. Одинаковость химического состава Солнца и звёзд подтверждает единство Вселенной, в частности, единство её происхождения.

Спектральный класс звезды определяется температурой её поверхностных слоёв, причём индикатором температуры наружных слоёв звезды служит её цвет. Каждому значению показателя цвета звезды

соответствует определённый тип её спектра. Последовательность спектров звёзд, получающуюся при непрерывном изменении температуры их поверхностных слоёв, принято обозначать латинскими буквами: *O, B, A, F, G, K, M*. Кроме того, каждый спектральный класс подразделяется на 10 подклассов. Техника измерения цвета звезды (с помощью эталонированных светофильтров) позволяет определить спектр любой наблюдаемой звезды с точностью до подкласса. Самые горячие звёзды спектральных классов *O* и *B* имеют белый или голубой цвет, их температура 10–12 тыс. К; звёзды, сходные с нашим Солнцем (спектральный класс которого *G2*) – жёлтые, их температура 6–7 тыс. К; самые холодные звёзды спектральных классов *K* и *M* – красные, температура их поверхностных слоёв составляет 3–4 тыс. К.

Светимость звезды – полное количество энергии, излучаемое звездой в единицу времени. Светимость звезды проявляется в её яркости (блеске). Надо иметь в виду, что для наблюдателя яркость звезды зависит не только от её светимости, но и от расстояния до неё (яркость убывает обратно пропорционально квадрату расстояния). По своей видимой яркости или, как говорят в астрономии, *величине*, звёзды характеризуются своими *звёздными величинами*, при этом уменьшение звёздной величины на 1 единицу соответствует увеличению её яркости в 2,5 раза (точнее – в 2,512 раза).

Таким образом, видимая звёздная величина звезды есть логарифм её физической яркости по основанию 2,5. Сравнивая яркости двух звёзд и зная величину одной, можно легко найти величину другой. Например, Сириус ярче Полярной звезды в 25 раз, отсюда разность их величин равна $\log_{2,5} 25 = 3,5$. Звёздная величина Полярной звезды принята за +2, откуда звёздная величина Сириуса равна $2 - 3,5 = -1,5$. Возникает вопрос – почему в качестве звёздной величины берётся не физическая яркость звезды (или пропорциональная ей величина), а её логарифм? Это связано с *психологическим законом Вебера – Фехнера*, согласно которому *ощущение пропорционально логарифму раздражения*. Выбор в качестве основания логарифма числа 2,5 основан исключительно на соображении удобства: если физическая яркость одной звезды больше другой в 100 раз, то разность из звёздных величин составляет $\log_{2,5} 100 = 5$, т.е. 5 величин. Именно на столько порядков отличается по видимой яркости блеск самой яркой звезды от самой слабой при их наблюдении невооружённым глазом. (Ещё великий астроном Античности Гиппарх распределил все видимые звёзды по их блеску на шесть классов и назвал самые яркие – звёздами первой величины, следующие за ними – звёздами второй величины и т.д.) Самая яркая по своей видимой яркости звезда – Сириус (её звёздная величина равна – 1,5). Солнце имеет звёздную величину минус 26,7.

Мерой светимости звезды может служить её *абсолютная звёздная величина*, которая соответствует яркости звезды при её отнесении на стандартное расстояние в 10 парсек (приблизительно в 2 млн раз больше расстояния от Земли до Солнца). С такого расстояния Солнце представлялось бы как еле различимая звёздочка 5-й величины.

Масса звёзд меняется в достаточно узком диапазоне: имеется сравнительно немного звёзд, масса которых отличается от массы Солнца более чем в 10 раз. Вообще, одиночная звезда не может иметь массу, превышающую массу Солнца в 100 раз: в этом случае давление внутри звезды приведёт к её взрыву. В абсолютном значении масса Солнца равна $2 \cdot 10^{33}$ г и превышает массу Земли приблизительно 330 тысяч раз.

Размеры звёзд меняются в очень широких пределах: есть звёзды, радиус которых меньше радиуса Земли (так называемые «белые карлики»), а есть «пузыри», в которых свободно уместится орбита Марса. Так как по своим массам звёзды отличаются незначительно, то звёзды малых размеров имеют высокую плотность, в то время как плотность «пузырей» ничтожно мала. Средняя плотность солнечного вещества равна $1,4 \text{ г/см}^3$, у «пузырей» она в миллионы раз меньше плотности воздуха, а плотность «белых карликов» достигает сотен тысяч граммов на кубический сантиметр. Как астрономы определяют параметры звёзд? Для этого используются как прямые измерения (например, определение химического состава звезды по её спектру), так и связи между параметрами, установленные теоретическим путём. Расстояния до ближайших звёзд можно определить так называемым *методом параллакса*, измеряя угол, который составляют направления на эту звезду с диаметрально противоположных точек земной орбиты. По измерениям зависимости интенсивности излучения звезды от длины волны можно установить её температуру T : чем выше температура, тем дальше в область коротких волн сдвигается максимум интенсивности излучения (закон Вина). Далее, зная расстояние до звезды и её видимую величину, можно найти её абсолютную звёздную величину, которая является мерой светимости L . Для определения радиуса звезды используется закон Стефана – Больцмана, согласно которому энергия Q излучаемая с единицы площади поверхности нагретого тела, пропорциональна четвёртой степени температуры тела T :

$$Q = \sigma T^4, \quad (14.1)$$

где σ – некоторая постоянная. Отсюда полная энергия, излучаемая звездой (т.е. её светимость), находится по формуле

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4. \quad (14.2)$$

Сравнивая светимость звезды со светимостью Солнца (для которого R и T известны), и используя формулу (14.2), можно найти радиус звезды R .

14.2. Диаграмма спектр-светимость. Источник энергии звёзд

Для простейшей характеристики звезды достаточно знать два её параметра: спектральный класс (цвет) и светимость (абсолютную звёздную величину). Если в декартовой системе координат по оси абсцисс откладывать спектральный класс, а по оси ординат – светимость, то каждая звезда представляется точкой на координатной плоскости и в результате получается *диаграмма «спектр-светимость»* (диаграмма Герцшпрунга – Рассела), см. рис. 14. При этом точки, изображающие звезды, не заполняют диаграмму равномерно. Большинство звёзд (приблизительно 95%) располагается на диаграмме Герцшпрунга – Рассела по диагонали, идущей из верхнего левого угла в правый нижний, образуя так называемую *главную последовательность*.

В этой полосе плотность точек наибольшая. В левом нижнем углу диаграммы располагаются звёзды, имеющие небольшие размеры, чрезвычайно высокую плотность и низкую светимость («белые карлики»), а в правом верхнем – звёзды, имеющие гигантские размеры, высокую светимость и излучающие в пространство огромное количество энергии («красные гиганты»).



Рис. 14

Звезды проводят большую часть своей жизни на главной последовательности, но рано или поздно покидают ее, чтобы перейти в другое состояние. Так как в течение своей эволюции у звезды изменяется и ее температура, и ее светимость, то точка, соответствующая звезде, перемещается по диаграмме; кривая, по которой она перемещается, носит название *эволюционный трек* звезды.

Важнейший вопрос об источнике энергии Солнца и звёзд был решён только в конце 30-х гг. XX в. До этого имелись разные гипотезы относительно источника энергии звёзд, например:

- *гипотеза сгорания* (в звёздах происходит реакция соединения вещества звезды с кислородом);
- *метеоритная гипотеза* (энергия звезды поддерживается за счёт падения на её поверхность метеоритов);
- *контракционная гипотеза*, высказанная в 1854 г. Гельмгольцем, согласно которой энергия звезды образуется при её сжатии;
- *гипотеза радиоактивного распада* (в звёздах происходит радиоактивный распад с выделением энергии).

В конце 30-х годов прошлого века была выдвинута и сейчас принята в качестве доказанной гипотеза *термоядерного синтеза*: в недрах звёзд происходит термоядерная реакция синтеза – превращение водорода в гелий. При этом выделяется колоссальное количество энергии. По теплотворной способности реакция синтеза гелия из водорода составляет около 150 млрд калорий на 1 кг водорода – это вдвое больше теплотворной способности урана при его делении и в 20 млн раз больше теплотворной способности угля при его сгорании (см. [2]).

14.3. Процесс рождения звезды и её эволюция в период стабильности

Процесс рождения звезды в настоящее время представляется следующим образом [3]. Вначале происходит конденсация газопылевой туманности (состоящей из межзвёздного газа и космической пыли); в результате получается непрозрачное облако – *протозвезда*. Затем под действием гравитационных сил протозвезда медленно сжимается, что ведёт к повышению температуры в её недрах. Создаются условия для протекания термоядерного синтеза. Когда температура в недрах протозвезды достигает 10^7 К, начинается реакция термоядерного синтеза; протозвезда становится самосветящейся, т.е. превращается в звезду.

Рассмотрим далее этапы эволюции звёзд. Для всякой звезды существует период стабильности – когда гравитационные силы уравновешиваются упругими силами газового давления, возникающими при «сгорании» водорода, т.е. превращении его в гелий. При этом гравитационные силы сжимают звезду (т.е. направлены вовнутрь), а силы газового давления стремятся «рассеять» звезду на возможно больший объем (т.е. направлены вовне). Равновесие между этими силами длится многие миллионы и даже миллиарды лет и соответствует времени пребывания звезды на главной последовательности. В период стабильности звезда сохраняет свои основные параметры.

Время пребывания звезды на главной последовательности зависит от её первоначальной массы. Для звезды большей массы излучение имеет огромную мощность, поэтому звезда быстро расходует запасы своего водородного «горючего». Время жизни массивных звёзд – несколько миллионов лет, в то время как звёзды малой массы живут миллиарды лет. Таким образом, «судьба» звезды определяется её массой (в понятие «судьба звезды» входит общее время жизни звезды, а также время пребывания на главной последовательности и этапы её дальнейшей эволюции). Для звезд спектрального класса *G* (к которому относится Солнце), время пребывания на главной последовательности составляет 10–12 млрд лет. Так как Солнце уже пребывает на главной последовательности 5 млрд лет, то, по

крайней мере, еще 5–6 млрд лет оно на ней останется, и в этот период никаких катаклизмов с ним не произойдет.

Какова дальнейшая судьба Солнца? Согласно теории все звезды, имеющие массу, не превышающую нескольких масс Солнца, на заключительном этапе своей эволюции вступают в фазу *красного гиганта*. Основная причина такого перехода – перестройка процессов ядерного горения в недрах звезды. На главной последовательности основной источник энергии звезды – термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Когда в ядре звезды водородное горючее исчерпается, начинается его сжатие. Температура ядра повышается примерно до 10^8 К и становятся возможными ядерные реакции, приводящие к превращению гелия в углерод с дальнейшим образованием все более тяжелых элементов, включая железо. Из-за сильного повышения температуры ядра и его уплотнения силы газового давления, действующего вовне, увеличиваются и в результате начинают расти размеры внешней оболочки. У звезды развивается мощная конвективная зона, которая занимает до 99,9% радиуса звезды. Температура поверхности звезды падает до 2000–3000 К, но ее светимость возрастает за счет увеличения размеров, достигая нескольких тысяч светимостей Солнца. В результате этих процессов звезда относительно быстро (например, звезда солнечной массы – за несколько миллионов лет) сходит с главной последовательности вправо-вверх, превращаясь в красного гиганта.

Когда такая звезда находится на последней стадии красного гиганта, она начинает интенсивно терять вещество. Образуется протяженная газопылевая оболочка, которая, расширяясь, рассеивается в межзвездной среде. Стадия потери массы длится от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов лет, что составляет лишь доли процента от времени жизни звезды типа Солнца на главной последовательности. По мере того, как звезда освобождается от внешних холодных слоев, ее температура растет и звезда смещается по диаграмме Герцшпрунга – Рассела влево. В итоге конвективная оболочка полностью сбрасывается и от звезды остается вырожденное ядро – белый карлик с температурой поверхности до 50 000 К (на диаграмме Герцшпрунга – Рассела звезда уходит вниз, в область белых карликов). Сброшенная околозвездная оболочка ионизируется под действием ультрафиолетового излучения белого карлика и образует вокруг него планетарную туманность. Так как такая звезда не имеет ядерных источников энергии, то в последующем она медленно остывает.

Остывая, белый карлик превращается в чёрного карлика – мёртвую холодную звезду, соизмеримую по величине с Землёй, плотность которой в миллионы раз больше плотности воды. Процесс остывания белых карликов длится сотни миллионов лет.

Так заканчивают свой жизненный путь звезды солнечного типа. Такая участь уготована и нашему Солнцу. Основные этапы его жизни: главная последовательность, красный гигант, белый карлик, чёрный карлик.

14.4. Эволюция звёзд большой массы. Сверхновые звезды. Нейтронные звёзды. Чёрные дыры

Для звезд большой массы (более чем несколько Солнечных масс) их заключительный этап жизни протекает по-другому, чем для звезд типа Солнца. Эволюция таких звезд тесно связана с понятием *сверхновой звезды*. Старинные летописи и хроники сообщают нам, что изредка на небе внезапно появлялись звезды исключительно большой яркости. Они быстро увеличивали свою яркость, а затем медленно, в течение нескольких месяцев, угасали и переставали быть видимыми. При максимуме блеска эти звезды были видны даже днем. Наиболее яркими были вспышки в 1006 и 1054 годах, сведения о которых содержатся в китайских и японских трактатах. В 1572 г. такая звезда вспыхнула в созвездии Кассиопеи (что было зафиксировано астрономом Тихо Браге), а в 1604 г. подобную вспышку в созвездии Змееносца наблюдал Иоганн Кеплер. С тех пор за четыре столетия наблюдений с помощью телескопов подобных вспышек не наблюдалось, однако с развитием наблюдательной астрономии исследователи стали обнаруживать довольно большое количество похожих вспышек меньшей яркости. Эти звезды, внезапно появляющиеся и вскоре как бы бесследно исчезающие, стали называть «Новыми». Вначале считалось, что звезды 1006 и 1054 годов, а также звезды Тихо Браге и Иоганна Кеплера были такими же вспышками, только очень близкими и из-за этого казавшиеся более яркими. Но оказалось, что это не так. В 1885 г. астроном Хартвиг, находясь в обсерватории г. Тарту, заметил появление новой звезды в хорошо известной туманности Андромеды. Эта звезда превосходила Новые звезды по мощности излучения в десятки тысяч раз, и на короткое время ее блеск был почти равен блеску всей звездной системы. Очевидно, что природа таких вспышек должна отличаться от вспышек Новых звезд. Позднее эти наиболее мощные вспышки получили название «Сверхновые звезды» (приставка «сверх» означает их большую мощность излучения, а не большую «новизну»). На основании всей совокупности наблюдательных данных астрономы пришли к выводу, что вспышка сверхновой должна быть последним этапом в эволюции звезды, после которой она перестает существовать в прежнем виде. На самом деле, наблюдение сверхновой обусловлено взрывом звезды, когда большая часть ее массы (или вся масса) «сбрасывается» в окружающее пространство со скоростью до 20 тыс. км/с, а оставшаяся центральная часть «схлопывается» (коллапсирует). Взрыв сверхновой представляет собой одно из самых грандиозных

космических явлений, продуктами которого являются расширяющиеся с большими скоростями газовые оболочки (так называемые *остатки сверхновой*) и звездообразные объекты – нейтронные звезды и черные дыры. Сверхновые играют фундаментальную роль в эволюции звезд, являясь «финалом» жизни звезд с массами, намного превосходящими массу Солнца. Одним из самых важных аспектов физики сверхновых звезд является их роль в термоядерном синтезе химических элементов и преобразовании химического состава Галактики. К моменту взрыва сверхновой звезды значительная доля её массы, находившаяся ранее в форме водорода и гелия, оказывается преобразованной посредством термоядерных реакций в элементы с большими атомными весами. При взрыве возникают условия для синтеза ещё более тяжёлых элементов, в том числе элементов группы железа. В результате этого вещество, выбрасываемое в межзвёздную среду, обогащено тяжёлыми элементами. На протяжении ранней истории Галактики взорвалось достаточно много сверхновых звезд, что привело к существенному изменению её первоначального химического состава. Наблюдения показывают, что самые «старые» звёзды Галактики содержат в 100–1000 раз меньше тяжёлых элементов, чем Солнце и другие звёзды, образовавшиеся позднее.

Одна из конечных стадий эволюции звёзды большой массы – ее превращение в так называемую *нейтронную звезду* (на возможность существования таких объектов впервые указал советский физик Л. Д. Ландау вскоре после открытия нейтрона). Вещество нейтронной звезды состоит из нейтронов с небольшой примесью электронов, протонов и более тяжёлых ядер. Теория эволюции звезд объясняет происхождение нейтронных звезд следующим образом. У массивных звёзд на стадии почти полного «выгорания» ядерного горючего в их центральной области может произойти катастрофически быстрое гравитационное сжатие – гравитационный коллапс. В этих условиях звезда не может образовать устойчивую конфигурацию белого карлика и под действием гравитационных сил сжимается до ничтожных размеров порядка 10 км в диаметре, а её плотность возрастает до 10^{15} г/см³, что превышает плотность атомного ядра. При такой плотности происходит превращение протонов и стабильных атомных ядер в нейтроны (так называемая *нейтронизация вещества*), и коллапс останавливается. При этом выделяется огромная энергия, поступающая в оболочку звезды и заставляющая ее начать расширение, которое наблюдается как вспышка сверхновой. Образовавшийся звездообразный объект состоит из плотно «упакованных» нейтронов, т.е. превращается в *нейтронную звезду* с температурой поверхности порядка 1 млн градусов. В дальнейшем она быстро остывает.

Пульсары – одно из самых замечательных открытий астрономии XX века. Они были обнаружены в 1967 году: некий радиисточник излу-

чал импульсы со строгой периодичностью 1,33 с (вначале решили, что эти импульсы имеют искусственное происхождение). Оказалось, что причина периодичности – быстрое вращение звёздообразных объектов, которые были названы пульсарами; они и представляют собой нейтронные звёзды. Быстрое вращение нейтронных звезд объясняется тем, что при сжатии звезды её радиус резко уменьшается, а масса сохраняется; по закону сохранения момента импульса скорость вращения звезды многократно возрастает. Нейтронные звёзды обладают сильным магнитным полем. Быстрое вращение нейтронной звезды в магнитном поле создаёт мощные электрические поля, которые вырывают заряженные частицы с поверхности звезды и ускоряют их до высоких энергий. В результате нейтронная звезда становится мощным источником радиоволн, излучаемых в конусе, осью которого служит магнитная ось звезды. По любому направлению излучение пульсирует с частотой, равной частоте вращения звезды вокруг её оси. Всего на сегодняшний день астрономы обнаружили около 1 200 нейтронных звезд, из них более тысячи являются радиопулсарами, а остальные – просто рентгеновскими источниками.

Для звезды, масса которой многократно превышает солнечную, возможен еще один сценарий эволюции на заключительном этапе ее жизни. Давление в недрах звезды возрастает в такой степени, что она сжимается с катастрофической скоростью, приближающейся к скорости света и, уплотняясь, звезда оказывается как бы «раздавленной» собственной массой, превращаясь за несколько секунд в сверхплотную точку – это явление называется *гравитационный коллапс*. (Заметим, что в обычных «макроскопических» телах такое сжатие невозможно, так как взаимное отталкивание одинаково заряженных частиц в атомах больше сил гравитационного сжатия; но при огромной массе ситуация иная.)

Когда скорость сжатия звезды приближается к скорости света, начинают проявляться эффекты теории относительности, в частности, замедление скорости течения времени в сильном гравитационном поле; те несколько секунд, которые требуются звезде, чтобы «сжаться в комок», для земного наблюдателя превращаются в тысячелетия. Поэтому обнаружить гравитационный коллапс с помощью посылаемых на Землю сигналов невозможно, т.е. с точки зрения земного наблюдателя процесс гибели звезды бесконечен. Вообще, из такого тела, ввиду его огромной плотности, не могут исходить ни частицы, ни излучение. По образному выражению академика Зельдовича «звезда проваливается в гравитационную могилу» и взаимодействует с окружающим миром только через гравитационное поле (обиходное название таких объектов – *Чёрные дыры*).

Несложно подсчитать критические размеры небесного тела, при которых с него не может «уйти» ни излучение, ни вещество. Для этого надо

воспользоваться формулой параболической (по-другому – второй космической) скорости:

$$V = \sqrt{\frac{2GM}{R}}. \quad (14.3)$$

Критические размеры тела характеризуются тем, что вторая космическая скорость (т.е. скорость «убегания» с него) совпадает со скоростью света c . Полагая $c = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$, находим

$$R_0 = \frac{2GM}{c^2}. \quad (14.4)$$

Величина R_0 называется *гравитационным радиусом* (или радиусом Шварцшильда). Например, для Солнца радиус Шварцшильда равен 3 км. Как только радиус сжимающейся звезды достигнет критического значения R_0 , она превращается в Чёрную дыру.

Всё изложенное выше про эволюцию звёзд ещё совсем недавно было чистой теорией. Белые карлики были обнаружены около 60-ти лет назад, нейтронные звёзды и квазары – около 40. На очереди – Чёрные дыры. Открытие этих объектов, наделенных необычными физическими свойствами, имеет большое значение не только для астрофизики, но и для понимания природы Вселенной. Например, магнитные поля нейтронных звезд достигают громадной величины порядка 10^{13} гаусс, совершенно недостижимой в земных лабораторных условиях. В таких полях полностью изменяется структура вещества и его свойства.

К настоящему времени в различных галактиках открыто несколько сотен массивных и чрезвычайно компактных объектов, наблюдаемые свойства которых очень похожи на свойства черных дыр. Хотя окончательных доказательств существования черных дыр пока не получено, за последнее десятилетие астрономы как никогда ранее приблизились к обнаружению подобных объектов. Рост числа обнаруженных кандидатов в черные дыры привел к тому, что родилась новая область астрофизики – демография черных дыр, изучающая их статистические свойства и связи с другими объектами Вселенной [5–7].

В заключение темы следует отметить, что за последние десятилетия наука о небесных телах – астрономия – полностью преобразилась. Если до середины прошлого века главной задачей астрономии считалось изучение положений и свойств небесных тел, то современная астрономия стала эволюционной. Она изучает характер эволюции и причины происходящих космических процессов.

Тема 15. Космологические модели Вселенной

Основные вопросы:

15.1. *Космологические постулаты. Вселенная Эйнштейна.*

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

15.3. *Зависимость типа эволюции Вселенной от критической плотности материи. Жизнь во Вселенной.*

15.1. Космологические постулаты. Вселенная Эйнштейна

Целостное представление о Вселенной формируется на основе изучения её космологических моделей. Все современные космологические модели базируются на так называемом *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 4, 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 порядка 300–500 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*.

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

В 1922 г. отечественный учёный математик и метеоролог А. А. Фридман установил, что космологическое уравнение Эйнштейна имеет решение без введения в него космологического члена (так называемое *нестационарное решение*, т. е. 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.

- Александр Александрович Фридман родился в 1888 г. в Петербурге. В 1913 г. поступил на работу в Аэрологическую лабораторию, находящуюся в г. Павловске под Петербургом, и вскоре стал выдающимся специалистом по метеорологии. А. А. Фридман является одним из основоположников динамической метеорологии, ему принадлежат фундаментальные труды по теории атмосферных вихрей, вертикальных воздушных течений и др. Значительный вклад А. А. Фридман внес в гидродинамику. Однако наибольшую известность ему принесло открытие нестационарности Вселенной. А. А. Фридман скончался в 1925 г. в возрасте тридцати семи лет.

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 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*»).

- Эффект Доплера (открыт им в 1842 г.) состоит в том, что частота излучения, измеряемая наблюдателем, зависит от скорости движения источника излучения волн относительно наблюдателя. А именно, если источник излучения приближается, то для наблюдателя его спектр смещается в сторону коротких волн (так называемое «фиолетовое смещение»); если же источник излучения удаляется, то его спектр смещается в сторону длинных волн (так называемое «красное смещение»). Эффект Доплера справедлив как для звуковых, так и для электромагнитных волн. В повседневной жизни мы сталкиваемся с эффектом Доплера, например, фиксируя изменение высоты тона гудка проходящего мимо нас поезда. Интерпретация «красного смещения» в спектрах галактик как их взаимного разбегания основана на эффекте Доплера.

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

$$v = Hr, \quad (15.1)$$

где v – скорость взаимного удаления галактик, r – расстояние между галактиками, H – постоянная Хаббла.

- Установление величины постоянной Хаббла является одной из важнейших задач астрономии, так как она характеризует скорость расширения Вселенной. Еще 10 лет назад для этой константы получали значения, различающиеся почти в два раза – от 55 до 100 км/с на Мпк. Один из способов нахождения постоянной Хаббла – сопоставление расстояния до сверхновой со скоростью удаления (красным смещением) галактики, в которой она вспыхнула. После 10 лет упорной работы исследователей цефеид и сверхновых точность удалось значительно увеличить. По последним данным, полученным с орбитального телескопа «Хаббл», численное значение постоянной Хаббла составляет примерно 72 (км/с)/Мпк с ошибкой около 10%. Из формулы Хаббла следует, что если, например, две галактики находятся на расстоянии в 100 мегапарсек, то они удаляются друг от друга со скоростью 7200 км/с.

Разбегание галактик служит блестящим подтверждением предсказанного А. А. Фридманом на математической основе факта нестационарности Вселенной. Открытие нестационарности Вселенной явилось одним из самых выдающихся открытий космологии XX века. Рассмотрим теперь следующий принципиальный вопрос:

Будут ли галактики разбегаться вечно?

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 (см. тему 16, вопрос 3) приближается к абсолютному нулю. Со временем (приблизительно через 10^5 миллиардов лет) все звёзды завершают своё 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 (см. [2]).

Вплоть до 70-х годов XX столетия общепринятым был прогноз о вечном расширении нашего мира, которое неизбежно должно привести к так называемой «тепловой смерти». Тепловая смерть – это такое состояние системы, когда вещество в ней распределено равномерно и разные ее части имеют одну и ту же температуру. Как следствие, невозможна ни передача энергии от одной части системы к другой, ни перераспределение вещества. В такой системе ничего не происходит и никогда уже не сможет произойти.

«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 «сжмётся 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 (см. [2]).

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 сле-

дующего расширения всё развитие мира начинается заново. Повторение циклов «расширение–сжатие» – это одна из гипотез, которую нельзя ни доказать, ни опровергнуть.

15.3. Зависимость типа эволюции Вселенной от критической 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.

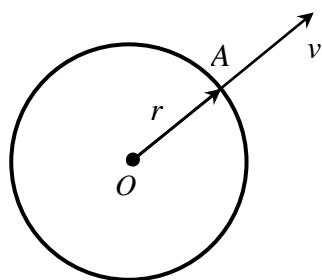


Рис. 15

Для определения критической плотности материи зафиксируем в пространстве некоторую точку O и рассмотрим шар массы M с центром в точке O радиуса r . Пусть галактика A находится на границе этого шара (рис. 15). Скорость удаления галактики от точки O определяется формулой Хаббла: $v = Hr$. Если скорость v превышает вторую космическую $v_{косм}$, то галактика A будет всё время удаляться от точки O , что соответствует «открытой» модели; если же скорость v меньше второй космической, то галактика A не может оторваться от тяготеющей массы M и после остановки начинает сближаться с ней, что соответствует «замкнутой» модели.

(Поведение галактики здесь аналогично поведению ракеты, пущенной с Земли вертикально вверх: при достаточно большой скорости ракета «отрывается» от Земли, а при меньшей – падает на неё.) Итак, «открытая» модель характеризуется условием $v > v_{косм}$, а «замкнутая» – условием $v < v_{косм}$. Равенство $v = v_{косм}$ отделяет «открытую» модель от «замкнутой». Из него и находится критическая плотность материи $\rho_{кр}$. Так как вторая космическая скорость $v_{косм}$ для шара массы M и радиуса r определяется формулой

$$v_{косм} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}, \quad (15.2)$$

то, подставляя в равенство $v = v_{\text{косм}}$ выражение второй космической скорости из (15.2), а v из формулы Хаббла, получаем уравнение

$$Hr = \sqrt{\frac{2GM}{r}}, \quad (15.3)$$

откуда $M = \frac{H^2 r^3}{2G}$. Выражая массу шара M через его плотность ρ :

$$M = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho,$$

приходим к равенству

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho = \frac{H^2 r^3}{2G},$$

откуда окончательно находим выражение для критической плотности

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G}. \quad (15.4)$$

При сегодняшнем значении постоянной Хаббла $H \approx 72$ км/с на мегапарсек получается значение критической плотности $\rho_{\text{кр}} \approx 10^{-29}$ 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

$$\rho \approx 3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3. \quad (15.5)$$

Таким образом, на сегодняшний день имеет место соотношение $\rho < \rho_{\text{кр}}$, что приводит к «открытой» модели Вселенной.

Следует заметить, что хотя данные науки свидетельствуют в пользу «открытой» модели, 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 элементарные частицы, нейтрино, межгалактический газ и т.п. Например, если средняя плотность межгалактического газа окажется в 30 раз больше средней плотности галактик, то в этом случае будет иметь место «замкнутая» модель. 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 $\rho_{\text{кр}}$.

- В последние годы в космологии и астрофизике появился термин «темная материя» или «темное вещество» (по-английски “dark matter”) – общее название совокупности астрономических объектов, недоступных прямым наблюдениям современными средствами астрономии (то есть не испускающих и не поглощающих электромагнитного или нейтринного излучения достаточной для наблюдений интенсивности). Существование подобных объектов косвенно подтверждается наблюдаемыми гравитационными эффектами (в частности эффектом «гравитационной линзы»). Объяснение этого явления следует из теории относительности. В соответствии с ней, любая масса деформирует пространство и подобно линзе искажает прямолинейный ход лучей света. Искажение, которое вызывает скопление галактик, столь велико, что его легко заметить. В частности, по искажению изображения галактики, которая лежит за скоплением, можно рассчитать распределение вещества в скоплении-линзе и измерить тем самым его полную массу. Оказывается, что она в разы больше, нежели «вклад» видимого вещества скопления. Некоторые учёные считают, что количество тёмной материи как минимум в пять раз больше количества видимой.

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.

Тема 16. Конечна или бесконечна Вселенная?

Основные вопросы:

- 16.1. Взгляд на Вселенную в рамках классической картины мира.
Зависимость геометрии Вселенной
от критической плотности материи.*
- 16.2. Определение возраста Вселенной по изотопному отношению.*
- 16.3. Определение возраста Вселенной по скорости остывания
реликтового излучения.*
- 16.4. Определение возраста Вселенной
по скорости разбегания галактик.*

16.1. Взгляд на Вселенную в рамках классической картины мира. Зависимость геометрии Вселенной от критической плотности материи

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.

Фотометрический парадокс. Ещё в 1744 г. астроном Р. Шезо высказал сомнения в пространственной бесконечности Вселенной. Он считал, что в бесконечной Вселенной, где существует бесконечное число звёзд, взгляд наблюдателя по любому направлению должен встречать какую-либо звезду, но это не так! Кроме того, несложно показать, что в случае бесконечного числа звёзд небосвод должен иметь яркость, превосходящую яркость Солнца (это связано с тем, что при увеличении радиуса шара в k раз число содержащихся в нём звёзд увеличивается в k^3 раз, а их суммарная относительная яркость уменьшается только в k^2 раз). Попытки устранения фотометрического парадокса (с помощью предположения о неравномерности распределения звёзд, а также с помощью гипотезы о поглощении света звёзд газопылевыми облаками) ни к чему не привели.

Гравитационный парадокс. Если Вселенная бесконечна и звезды в ней распределены «почти равномерно», то сила тяготения, действующая на любое тело во Вселенной, должна быть бесконечно большой. Действительно, число звезд, находящихся на фиксированном расстоянии R от рассматриваемого тела, растет пропорционально квадрату расстояния, а сила тяготения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. В итоге получаем, что суммарное тяготение от всех звезд, находящихся на расстоянии R от пробного тела, не зависит от R . Другими словами, все звезды Вселенной вносят в эту силу одинаковый вклад: убывание силы тяготения с расстоянием полностью компенсируется ростом количества звезд. А поскольку звезд во Вселенной бесконечное множество, то и силы тяготения, развиваемые ими, бесконечно велики. Если бы материя во Вселенной была распределена равномерно, то силы, действующие на пробное тело со всех сторон, взаимно уравнились бы. Однако при фактически неравномерном распределении вещества, собранном в звезды и галактики, парадокс возникает.

Термодинамический парадокс. Он проистекает из второго начала термодинамики, открытого в XIX веке (см. тему 5, вопрос 4). При всех

своих превращениях различные виды энергии переходят в итоге в тепло, которое рассеивается в пространстве. В конце концов все звезды погаснут, активные процессы во Вселенной прекратятся и она придет в необратимое состояние термодинамического равновесия, которое фактически означает ее «тепловую смерть».

Указанные космологические парадоксы серьезно подорвали веру ученых в справедливость тезиса о вечности и пространственной бесконечности Вселенной.

Современные подходы к вопросу о пространственной бесконечности Вселенной (т.е. к вопросу о геометрии Вселенной) сводятся к определению знака *кривизны пространства*. 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 k будет скалярной величиной, причём в один и тот же момент времени кривизна пространства является постоянной. Формула для нахождения кривизны пространства имеет вид

$$k = \frac{H^2}{c^2} \cdot \frac{\rho - \rho_{\text{кр}}}{\rho_{\text{кр}}}, \quad (16.1)$$

где H – постоянная Хаббла, c – скорость света в вакууме, ρ – средняя плотность вещества во Вселенной (плотность материи), $\rho_{\text{кр}}$ – критическая плотность вещества (см. вопрос 15.3). 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) $\rho > \rho_{\text{кр}}$. Тогда, как следует из формулы (16.1), кривизна пространства положительна. В этом случае во Вселенной реализуется *эллиптическая геометрия*. Такая Вселенная конечна, замкнута и безгранична (так называемый «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) $\rho < \rho_{\text{кр}}$. В этом случае кривизна пространства отрицательна и во Вселенной реализуется *гиперболическая геометрия* (геометрический образ – псевдосфера, см. тему 9, вопрос 1). Такая Вселенная 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.

16.2. Определение возраста Вселенной по изотопному отношению

Перейдём теперь к вопросу определения возраста Вселенной. Один из способов определения возраста Вселенной (т.е. возраста Метагалактики) основан на времени изменения так называемого *изотопного отношения* [8] некоторых тяжёлых элементов (*тяжёлыми* называются элементы тяжелее свинца, например, уран, торий и др.). В настоящее время ни на Земле, ни на Солнце нет условий для образования тяжёлых элементов, однако эти вещества на Земле есть и со временем их количество убывает в результате радиоактивного распада. Возникает естественный вопрос – когда и где эти вещества образовались и как они попали в земную кору? Лёгкие элементы образуются в недрах звёзд при температуре в десятки миллионов градусов и плотности порядка 10^4 г/см³; тяжёлые – при температуре в несколько миллиардов градусов и плотности, достигающей до 10^{11} г/см³. Столь высокая температура и плотность создаются в недрах сверхновых звёзд при их катастрофическом сжатии и последующем взрыве.

Образование тяжёлых элементов в сверхновых звёздах происходит следующим образом. Как известно, ядра атомов состоят из протонов и нейтронов и являются устойчивыми лишь при определённом соотношении между числом тех и других. Ядра лёгких элементов устойчивы тогда, когда число нейтронов равно числу протонов, а ядра тяжёлых элементов – при некотором избытке нейтронов. В сверхновых звёздах происходит процесс захватывания нейтронов ядрами атомов и в результате наблюдается β -распад, при котором нейтрон внутри ядра превращается в протон с испусканием электрона и антинейтрино (см. тему 10, вопрос 4). Таким обра-

зом, при β -распаде атомный номер изотопа увеличивается и его ядро может захватить ещё несколько нейтронов. Так, путём последовательного захвата нейтронов создаются различные изотопы вплоть до самых тяжёлых: урана, тория и трансурановых элементов.

Во время вспышки сверхновой происходит образование тяжёлых элементов и их выброс в окружающее пространство. Так как в Галактике вспышки сверхновых звезд происходят приблизительно раз в 100 лет, Солнце и Солнечная система при своём формировании неоднократно получали «порции» тяжёлых элементов. Ответ на вопрос – когда это происходило – может быть дан на основе подсчёта, например, изотопного отношения изотопов урана U^{235} / U^{238} .

В естественной смеси урана на Земле современное отношение изотопов U^{235} / U^{238} составляет 0,0073. В то же время из общих соображений следует, что ко времени завершения их образования они имелись примерно в равных количествах. Почему же наблюдаемое отношение этих изотопов не равно единице? Дело в том, что оба они являются радиоактивными, однако имеют разную скорость распада. Период полураспада U^{235} составляет 713 млн лет (т.е. каждые 713 млн лет его количество уменьшается наполовину), а за это же время количество U^{238} уменьшается лишь на 10%. Зная современное отношение изотопов U^{235} / U^{238} и отношение скоростей их распада, нетрудно сосчитать – сколько лет тому назад это отношение было равно единице. Расчёт показывает, что это произошло приблизительно 6 млрд лет назад. Но истинный возраст этих изотопов должен быть больше, поскольку они (как и другие тяжелые элементы) образовывались в процессе эволюции звезд в течение миллиардов лет. Вычисления, учитывающие это обстоятельство, сложнее и зависят от принятой модели, однако, используя несколько пар изотопов различных элементов, можно прийти к одному и тому же результату: их возраст составляет около 12 млрд лет при надежно установленном нижнем пределе в 9 млрд лет. Поскольку все эти элементы образовались в различных звездах нашей Галактики, указанное значение представляет собой средний возраст Галактики, а следовательно, дает оценку и для возраста Вселенной: он превышает 12 млрд лет при наиболее вероятном значении 13–15 млрд лет [9].

16.3. Определение возраста Вселенной по скорости остывания реликтового излучения

В 1965 г. американские физики А. Пензиас и Р. Вильсон, занимаясь отладкой радиоантенны для работ по программе спутниковой связи, обнаружили на волне 7,35 см совершенно новый тип излучения. Вскоре удалось доказать, что принимаемые сигналы имеют внеземное происхождение. Оказалось, что данное излучение не генерируется никакими телами

современной Вселенной, а отражает её состояние на ранних этапах эволюции. По этой причине известный советский астрофизик И. С. Шкловский предложил назвать обнаруженное излучение *реликтовым*, и сейчас этот термин получил всеобщее распространение; официальное его название – *микроволновое излучение* или *микроволновой фон* (см. [2]). (Интересно отметить, что существование микроволнового фона было предсказано американским физиком русского происхождения Георгием Гамовым еще в 1948 г. В те годы Г. А. Гамов первым в мире выдвинул теорию «горячей Вселенной», подтверждением которой служит реликтовое излучение.) Микроволновое излучение распространяется по любому направлению практически с одинаковой интенсивностью, доказывая тем самым, что расширение Вселенной происходит строго одинаково во все стороны.

По своему спектру микроволновое излучение занимает промежуточное положение между инфракрасным и радиодиапазонами и соответствует излучению чёрного тела, нагретого приблизительно до 3 К. Какова же природа этого излучения? По современным представлениям его происхождение таково. На ранних этапах эволюции Вселенной не было ни звёзд, ни галактик, ни тяжёлых элементов. Вселенная представляла собой раскалённый шар очень высокой плотности, состоящий из протонов, электронов, ядер лёгких элементов (в основном, гелия), а также электромагнитных излучений различных энергий; такое состояние материи называется *плазмой*. При очень высокой температуре и плотности плазма является «непрозрачной» для электромагнитного излучения, то есть излучение, участвуя в различных процессах, происходящих внутри сгустка плазмы, выйти из него не может. По мере расширения плазменного облака его плотность и температура быстро падают (аналогично охлаждению любого газа при его расширении). При снижении температуры плазмы до 3500–4000 К в ней начинает происходить активный процесс объединения электронов с протонами, в результате чего образуются нейтральные атомы водорода, а также атомы гелия и др. веществ (при больших температурах нейтральные атомы не могут образовываться, так как кинетическая энергия относительного движения электронов больше энергии их связи с протонами). Газ, состоящий из нейтральных атомов, почти прозрачен для излучения (в отличие от сильно ионизированной плазмы). Поэтому излучение отрывается от него и начинает «путешествовать» по Вселенной – происходит так называемый *отрыв излучения от вещества*. При этом температура излучения убывает обратно пропорционально размерам Вселенной. С момента «отрыва» излучения от вещества Вселенная увеличила свой размер более чем в 1000 раз; таким образом, температура заполняющего Вселенную излучения должна быть около 3 К. Именно это излучение и было обнаружено Пензиасом и Вильсоном в 1965 г.

Расчёт показывает: для того чтобы температура реликтового излучения снизилась с первоначальной до наблюдаемой ныне, должно было пройти около 10 млрд лет. Итак, с момента «отрыва» излучения от вещества прошло около 10 миллиардов лет, что даёт примерное представление о возрасте Вселенной.

В феврале 2003 г. группа ученых из НАСА (США) на основе измерения анизотропии микроволнового фона установила возраст Вселенной на уровне 13,7 млрд лет.

16.4. Определение возраста Вселенной по скорости разбегания галактик

Из закона Хаббла (см. вопрос 15.2) следует, что некогда Вселенная имела очень малый объём (все галактики были «сжаты в точку») и затем началось их разбегание, которое продолжается по сегодняшний день. Время, прошедшее с начала этого разбегания и есть время существования (т.е. возраст) Вселенной.

Для подсчета этой величины рассмотрим галактику, которая расположена на расстоянии r от нас и движется со скоростью v . Тогда ее движение продолжалось в течение времени $t_H = r/v$. Но по закону Хаббла $v = Hr$, откуда

$$t_H = H^{-1} \quad (16.2.)$$

(это время носит название *хаббловского*, что отражено в индексе H).

Итак, величина, обратная постоянной Хаббла $1/H$, даёт время разбегания галактик, т.е. время существования Вселенной (в предположении, что постоянная Хаббла не меняется со временем).

Для определения возраста Вселенной таким методом необходимо знать величину постоянной Хаббла – последняя получается на основании измерения расстояний от Земли до ряда галактик и нахождения скоростей движения этих галактик. Первые расчёты в этом направлении были сделаны в 1929–1931 гг. и привели к явно ошибочному результату, что возраст Вселенной составляет 1,8 миллиарда лет (меньше возраста Земли). Ошибка была связана с большой погрешностью при определении постоянной Хаббла.

В 1949–1950 гг. были проведены повторные исследования с помощью 508-сантиметрового телескопа в обсерватории Маунт Паломар (США). В результате этих измерений величина постоянной Хаббла была существенно снижена, и возраст Метагалактики оказался равным 15–18 миллиардам лет. Современное значение постоянной Хаббла составляет $H \approx 72$ км/(с·Мпк); отсюда возраст Вселенной оказывается равным

примерно 13 миллиардам лет. Правда, эта величина получается в предположении, что постоянная Хаббла не меняется со временем, т.е. что скорость расширения Вселенной постоянна. Весьма логичной выглядит гипотеза о том, что под действием гравитационных сил скорость расширения Вселенной постепенно уменьшается, тогда раньше скорость расширения была большей. Последние оценки возраста Вселенной находятся в пределах 13–14 миллиардов лет.

Тема 17. Большой взрыв и дальнейшая эволюция Вселенной

Основные вопросы:

17.1. Основания для концепции Большого взрыва.

*17.2. Вселенная в первые мгновения после Большого взрыва.
Дальнейшая эволюция Вселенной.*

17.3. Образование галактик.

17.4. Большой взрыв как начало физического существования Вселенной.

17.5. Антропный принцип в космологии.

17.1. Основания для концепции Большого взрыва

Идея Большого взрыва появилась в 20-х годах прошлого столетия в качестве рабочей гипотезы и с тех пор постоянно обсуждается в философской и научной литературе. В настоящее время эта идея превратилась в фундаментальную концепцию современного естествознания. На ней основано объяснение рождения Вселенной и ее эволюции от ранних этапов существования до настоящего времени. Современные представления об эволюции Вселенной базируются на ряде устоявшихся космологических теорий и установленных космологических фактах, важнейшими из которых являются следующие:

- *общая теория относительности (Альберт Эйнштейн, 1916 г.);*
- *теория нестационарной Вселенной (Александр Фридман, 1922 г., Жорж Леметр, 1927 г.);*
- *явление разбегания галактик (Эдвин Хаббл, 1929 г.);*
- *теория «горячей Вселенной» (Георгий Гамов, 1948 г.);*
- *обнаружение микроволнового фона – реликтового излучения (Арно Пензиас, Роберт Вильсон, 1965 г.).*

В основе концепции Большого взрыва лежит факт нестационарности Вселенной. Нестационарность Вселенной проявляется в том, что в результате «разбегания» галактик объем Вселенной постоянно увеличивается, а ее средняя плотность уменьшается. Экстраполяция к прошлому приводит к

выводу, что некогда (приблизительно 13–15 млрд лет назад) вся Вселенная была сосредоточена в чрезвычайно малом объёме и имела плотность порядка $10^{14} - 10^{15}$ г/см³, т. е. такую же, как у атомного ядра. А еще раньше плотность вещества достигала фантастических величин. Современные теории позволяют рассматривать физические процессы во Вселенной с момента, когда плотность материи составляет 10^{93} г/см³. В условиях, когда вещество имеет такую плотность, должны сказываться уже квантовые свойства сил тяготения, а к теоретическому анализу этих свойств физика только приступает. Момент в истории Вселенной, когда плотность вещества была 10^{93} г/см³, выделяют особо (иногда его называют *начальным моментом* и рассматривают как начальный для всех физических процессов). Состояние Вселенной в начальный момент, которое нельзя описать языком современной физики, называется *сингулярным*. Сингулярное состояние является крайне неустойчивым, и оно приводит к колоссальному взрыву, который носит название *Большой взрыв (Big Bang)*. Его последствия – разбегание галактик и реликтовое излучение – представляют собой своеобразное эхо Большого взрыва.

В настоящее время концепция Большого Взрыва является общепринятой [10–12]. Однако она испытывает определённые трудности в объяснении некоторых наблюдаемых фактов (например, объяснение однородности Вселенной, асимметрии вещества и антивещества). Также она не даёт объяснения самого механизма Большого взрыва. Одна из современных теорий, дополняющая «сценарий» Большого взрыва, это – «теория инфляции», которую разработали американские физики А. Гут и П. Стейнхардт [13]. Эта теория основана на квантовой космологии – применении квантовой механики к Вселенной в целом. Она объясняет эволюцию Вселенной в самые ранние моменты её зарождения (в промежутке от 10^{-43} до 10^{-35} с).

- Теория инфляции трактует механизм Большого взрыва с помощью понятия «ложного вакуума» (возбуждённого состояния вакуума). Согласно инфляционному сценарию вначале Вселенная находилась в состоянии ложного вакуума. Ложный вакуум наделён необычными свойствами: он создает гигантскую силу отталкивания, обеспечивающую ускоряющееся расширение Вселенной, при этом само расширение формирует возрастание энергии вакуума. Под действием космического отталкивания объём пространства, занимаемого Вселенной, удваивается каждые 10^{-34} с. Такой тип расширения, рассмотренный Аланом Гуттом, был назван им инфляцией. В результате катастрофического расширения все части Вселенной разбегаются с огромной скоростью – это и есть Большой взрыв. Теория инфляции даёт объяснение поразительной однородности Вселенной: любые первоначальные неоднородности в структуре Вселенной «стираются» при грандиозном увеличении её размеров (подобно тому, как разлаживаются складки на мяче при его надувании).

Таким образом, по инфляционному сценарию Вселенная начала своё существование из состояния вакуума, лишённого вещества и излучения. Когда состояние вакуума распалось, его энергия высвободилась в виде из-

лучения, которое мгновенно нагрело Вселенную до 10^{27} К. С этого момента ее развитие происходило согласно стандартной теории «горячей Вселенной», автором которой является Г. А. Гамов. Благодаря тепловой энергии возникло вещество и антивещество, а затем Вселенная стала остывать. По мере остывания космический материал испытывал последовательные фазовые переходы, причём при каждом таком переходе из первичного материала «вымораживалось» всё больше структур. Последовательно отделялись друг от друга взаимодействия. Крупномасштабные нерегулярности разрастались в галактики, раскалённая плазма конденсировалась в атомы, формируя звёзды, планеты и, в конечном счёте, – жизнь.

17.2. Вселенная в первые мгновения после Большого Взрыва. Дальнейшая эволюция Вселенной

Теория «горячей Вселенной» в своём простейшем варианте предполагает, что Вселенная возникла спонтанно из сингулярного состояния в процессе Большого Взрыва.

Рассмотрим вкратце основные этапы дальнейшей эволюции Вселенной. По мере расширения Вселенной её плотность уменьшалась, а температура падала, причём вначале этот процесс происходил очень быстро, а затем всё медленнее. Температура Вселенной понижалась в соответствии с приближенной формулой

$$T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}}, \quad (17.1)$$

где T – температура в кельвинах, t – время существования Вселенной в секундах. Методом численного моделирования с использованием данных ядерной физики удалось воспроизвести детали ядерных процессов, имевших место в первые минуты существования Вселенной. А на современных ускорителях частиц экспериментально воспроизводятся процессы, происходившие в ранние моменты ее существования.

Хроника первых мгновений существования Вселенной

Период от 10^{-35} до 10^{-4} с называется *эрой адронов*. За этот период температура Вселенной уменьшается с 10^{27} до 10^{12} К. К концу эры адронов кварки прекращают свободное существование и объединяются в адроны. В этот период рождаются нуклоны (протоны и нейтроны), а также лептоны (электроны и позитроны). Однако температура Вселенной еще слишком высока для образования не только атомов, но и ядер. Плотность вещества Вселенной в миллиарды раз превышает плотность воды.

Период с 10^{-4} до 10 с носит название *эры лептонов*. Вселенная остывает до 10^{10} К. При такой температуре происходит отделение от газовой смеси нейтрино и антинейтрино.

К 14-й секунде температура Вселенной упала до 3 млрд градусов и появились условия для соединения и аннигиляции электронов и позитронов. Аннигиляция электронов и позитронов приводит к образованию фотонов и завершается избытком электронов. Их избыток и суммарный отрицательный заряд точно компенсировал положительный суммарный заряд протонов, образовавшихся раньше. Также в протоны превратились свободные нейтроны и, в итоге, отношение числа протонов к числу нейтронов стало равным 8:1. Это отношение сохранилось в дальнейшем и определило соотношение водорода и гелия во Вселенной.

К концу третьей минуты после Большого взрыва Вселенная значительно расширилась, а ее плотность стала близка к плотности воды. При снижении температуры до 10^9 К начинаются реакции *нуклеосинтеза* – слияния протонов и нейтронов с образованием ядер атомов водорода и гелия. Из ядер, лишенных электронных оболочек, – ионов – образуется раскаленная ионизированная плазма, состоящая на 75% из ядер водорода и на 25% из ядер гелия. Только через сотни тысяч лет начали образовываться атомы этих элементов.

Следующая эра, в течение которой завершается формирование ранней Вселенной, – *эра фотонов*. Первые несколько сот тысяч лет своего существования Вселенная является бесструктурной – ее целиком заполняет постепенно остывающая водородно-гелиевая плазма. И лишь когда температура плазмы опускается до 4000 К, начинается образование *атомов* легких элементов. Плазма постепенно превращается в водородно-гелиевый атомарный газ, который, расширяясь, быстро охлаждается. При температуре плазмы в 3500–3000 К она становится «прозрачной» для аннигиляционных фотонов и происходит «отрыв излучения от вещества», дошедший до наших дней как реликтовое излучение (см. вопрос 16.3). По современным представлениям это произошло приблизительно через 380 тысяч лет после Большого взрыва. Реликтовое излучение представляет собой «след» исчезнувшего антивещества и несет информацию о ранних этапах развития Вселенной. Наличие реликтового излучения является важнейшим экспериментальным подтверждением существующих моделей Большого взрыва.

На ранней стадии развития Вселенной число частиц и античастиц почти совпадало, но имелся незначительный перевес (примерно одна десятимиллионная доля процента) в пользу частиц. В результате последующей аннигиляции античастицы полностью исчезли, а перевес частиц над античастицами образовал в дальнейшем всё вещество Вселенной. Таким образом, наличие нашего мира проявляется как «мелкая оплошность природы», которая не смогла сбалансировать процессы аннигиляции с абсолютной точностью. Если бы это произошло, то Вселенная состояла бы лишь из виртуальных частиц (вакуума), излучения и нейтрино. В этом случае во

Вселенной не смогли бы появиться ни галактики, ни звезды, ни планеты и, следовательно, не было бы условий для возникновения жизни.

Через 10^6 лет после Большого взрыва наступает *эра звезд* (или *эра вещества*). Начинается образование галактик. Гравитация способствует формированию галактик, а сильное взаимодействие – развитию ядерных реакций внутри звезд. По современным оценкам, процесс перехода от однородной Вселенной к структурной занял от 1 до 3 млрд лет.

Таким образом, в результате сложных процессов самоорганизации хаотическая изначально почти однородная плазменная среда превратилась в обособленные звездные системы – галактики. Образование Вселенной представляет собой самое грандиозное явление самоорганизации, предопределившее все последующие этапы самоорганизации материи.

17.3. Образование галактик

Как же происходило формирование галактик в почти однородной расширяющейся Вселенной? Схематически этот процесс может быть представлен так. В начале расширения Вселенной вещество представляло собой почти однородную расширяющуюся горячую плазму. Но на некотором этапе эта однородная плазма распалась на комки, которые развились в небесные тела и системы небесных тел. По мнению большинства специалистов, подобные процессы происходят из-за гравитационной неустойчивости: небольшие начальные сгустки вещества своим тяготением стягиваются и за счет этого разрастаются. Эти сгустки вещества при определенных условиях могут вырасти в большие комки, дающие начало скоплениям галактик. Основы теории, описывающей этот процесс, были сформулированы еще в 1946 г. отечественным физиком Е. М. Лифшицем. Согласно современным представлениям, главной «действующей силой», определяющей кинематику расширения Вселенной, считается тяготение нейтрино.

- В 1980 г. группа исследователей Института экспериментальной и теоретической физики, возглавляемая В. А. Любимовым, опубликовала результаты многолетних экспериментов, из которых следовало, что нейтрино имеют ненулевую массу покоя. Хотя масса покоя нейтрино оценивается ничтожной величиной порядка 5×10^{-32} г, физики считают, что эта легчайшая, ни с чем не взаимодействующая частица играет определяющую роль во Вселенной. Дело в том, что во Вселенной очень много реликтовых нейтрино и поэтому, несмотря на столь малую массу, именно нейтрино оказывается главной составной частью массы материи во Вселенной. Обычное вещество по массе, а значит, и по гравитационному действию составляет около 3% от основной массы Вселенной, состоящей из нейтрино (образно говоря, мы живем в «нейтринной» Вселенной).

Общая картина роста неоднородности Вселенной схематично выглядит следующим образом. Уже спустя 1с после начала расширения Вселенной плотность вещества уже недостаточна, чтобы препятствовать свободному полету сквозь него нейтрино, которые имеют в этот период еще очень большую энергию и ле-

тят со скоростью, близкой к скорости света. Но вследствие расширения Вселенной нейтрино теряют энергию и их скорость уменьшается. Расчеты показывают, что примерно через 300 лет после начала расширения скорость нейтрино упадет настолько, что они уже не могут вылететь из комков большого размера. Такие комки, имеющие сначала сравнительно малую плотность, усиливаются тяготением, сгущаются и растут до тех пор, пока среда не распадется на отдельные сжимающиеся облака из нейтрино. Согласно расчетам, масса типичного нейтринного облака составляет примерно 10^{15} масс Солнца. Еще в 70-х годах прошлого века акад. Я. Б. Зельдович показал, что в процессах такого рода возникающие облака должны быть сильно сплюснутыми и похожими на блины. Соединение множества таких «блинов», хаотично расположенных в пространстве, дает картину гигантских невидимых нейтринных сот.

Что касается «обычного» вещества (то есть всего вещества Вселенной за вычетом нейтрино) – в начале расширения Вселенной оно также было распределено в пространстве почти равномерно. Масса этого обычного вещества во много раз меньше суммарной массы нейтрино, а в начальной стадии расширения Вселенной это вещество находилось в состоянии горячей плазмы. На сравнительно поздней стадии расширения обычное вещество настолько охлаждается, что из состояния плазмы оно превращается в водородно-гелиевый атомарный газ, давление которого резко падает – это происходит спустя миллион лет после начала расширения. Затем холодный газ начинает сгущаться в поле тяготения возникающих нейтринных облаков, стягиваясь к их центральной части. Именно из этого сгущающегося нейтрального газа постепенно возникают скопления галактик, галактики и звезды. А так как «обычного» вещества по массе приблизительно в 30 раз меньше, чем нейтрино, то в невидимом нейтринном «блине» с массой порядка 10^{15} Солнечных масс образуется скопление галактик, масса которого в 30 раз меньше, т.е. составляет 3×10^{13} Солнечных масс. После образования галактик расширение Вселенной сводилось к их непрерывному разлёту, причём сами галактики практически не расширялись. Образование галактик и, в дальнейшем, звёзд происходило на сравнительно позднем этапе эволюции Вселенной, когда её размеры составили 1–10% от современных.

Полученные наблюдательной астрономией данные о массе и форме больших скоплений галактик хорошо согласуются с приведенными выше теоретическими построениями. Не весь водородно-гелиевый атомарный газ оказался сконденсированным в галактики – некоторая его часть осталась в межгалактическом пространстве. Под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучения образовавшихся звёзд межгалактический газ нагревается и ионизируется. Межгалактическое пространство заполняется также космическими лучами, образовавшимися под действием взрывов сверхновых звёзд. Постепенно Вселенная принимает тот вид, который она имеет в настоящее время.

Итак, в отличие от представлений, сложившихся к началу XX века, Вселенная не остаётся неизменной. Она эволюционирует, причём достаточно энергично. Картина эволюционирующей Вселенной, гипотезы её рождения, воссоздание механизма образования галактик, открытие большинства фактов, касающихся жизни звёзд, – всё это достижения космологии второй половины XX века.

17.4. Большой взрыв как начало физического существования Вселенной

Большой Взрыв знаменует начало физического существования Вселенной. Он не есть событие, произошедшее в пространстве и во времени, а есть само «сотворение» и пространства, и времени: согласно общей теории относительности ни пространство, ни время не могут существовать «сами по себе», то есть без материи. Поэтому неправомерны вопросы типа: «Что было до Большого Взрыва?» или «Каковы его причины?». Таково начальное условие: развитие Вселенной началось с Большого взрыва, с расширения, которое продолжается по сегодняшний день. По мере своего расширения Вселенная сама создает и пространство, и время.

По данным современных наблюдений Вселенная в больших масштабах исключительно однородна в плане распределения вещества и энергии. Глобальная структура космоса практически одинакова как в окрестности Земли, так и в окрестностях далёких галактик. Галактики рассеяны в пространстве с одинаковой средней плотностью и из любой точки все физические свойства Вселенной одинаковы по всем направлениям (изотропность). Заполняющее Вселенную микроволновое излучение попадает на Землю, имея одну и ту же температуру с точностью до 10^{-4} по всем направлениям. Крупномасштабная однородность Вселенной сохраняется по мере её расширения: реликтовое излучение на пути к нам проходит миллиарды световых лет и несёт отпечаток любого встречающегося на его пути отклонения от однородности. Расширение Вселенной также происходит одинаково по всем направлениям (действительно, если бы по некоторому направлению Вселенная расширялась быстрее, то температура микроволнового излучения по этому направлению была бы более низкой). Таким образом, Большой взрыв произошёл одновременно, точно с одинаковой силой во всех точках и по всем направлениям [13].

Глобальная структура пространства и распределение материи составляют предмет релятивистской космологии, возникшей на базе общей теории относительности Эйнштейна. Однако ОТО принципиально не может описать того, что происходило в непосредственной окрестности Большого взрыва, т.к. она не учитывает квантовых явлений. Дело здесь в том, что согласно ОТО сильные гравитационные поля искажают течение

времени, а в силу принципа неопределенности квантовой механики это приводит к большой неопределенности энергии. Основанные на этих соображениях оценки показывают неприменимость теории Эйнштейна для промежутков времени меньших 10^{-43} с и пространственных расстояний меньших 10^{-33} см (так называемых *планковских* единиц времени и пространства, которые строятся путем комбинирования трех фундаментальных постоянных современной физики – постоянной Планка, скорости света и гравитационной постоянной). Для рассмотрения непосредственной окрестности сингулярности необходимо пользоваться квантовой теорией гравитации.

- Один из вариантов этой теории изложен в книге С. Хокинга [14]. Суть ее состоит в следующем. В ранней Вселенной, когда закладываются основные характеристики пространства-времени, они испытывают квантовые флуктуации, связанные с соотношением неопределенностей, в результате чего Вселенная постоянно «туннелирует» между различными состояниями. Для описания процессов квантовомеханического туннелирования обычно используется предложенный Л. Д. Ландау переход к мнимому времени. При приближении к точке сингулярности физическое время исчезает и превращается в мнимое время. При этом в рамках теории относительности мнимое время соответствует действительной пространственной координате, что может интерпретироваться как «превращение времени в пространство».

17.5. Антропный принцип в космологии

Главные свойства Вселенной связаны с так называемыми *фундаментальными*, или *мировыми, константами*. К числу важнейших фундаментальных констант (постоянных) относятся: гравитационная постоянная G , задающая величину тяготения между любыми телами Вселенной; скорость света в вакууме c , являющаяся наибольшей скоростью распространения взаимодействий в природе; постоянная Хаббла H , определяющая скорость разбегания галактик; заряд электрона e , являющийся минимальным значением электрического заряда; постоянная Планка h , задающая масштаб минимального квантового воздействия; постоянная Больцмана k , служащая мерой минимального теплового воздействия; а также постоянные сильного и слабого взаимодействий. Все эти константы были «заложены» во Вселенную на ранних стадиях ее формирования.

В последние годы было установлено, что существование основных структур Вселенной (атомов, звезд, галактик) возможно лишь в узком диапазоне числовых значений фундаментальных констант. Расчеты показывают, что даже небольшие изменения величин фундаментальных констант привели бы к образованию качественно иного мира, в котором, в частности, было бы невозможным образование макроскопических структур и, как следствие, высокоорганизованных форм материи и жизни.

Приведем несколько примеров зависимости организации Вселенной и свойств материи от мировых констант.

1. Если бы гравитационная постоянная G имела бы несколько меньшее значение, чем существующее, то все звезды были бы Белыми карликами, которые характеризуются малыми размерами и малой светимостью. Но если бы она имела чуть большее значение, то звезды стали бы Голубыми гигантами с огромными размерами и высокой светимостью. В обоих случаях рядом с ними не могли бы существовать планеты с температурными условиями, пригодными для жизни.
2. Если бы значение постоянной сильного взаимодействия было бы меньше существующего на 5%, то нуклеосинтез стал бы невозможным. В этом случае Вселенная целиком состояла бы из водорода и никакие сложные элементы в ней не могли бы образоваться. А если бы постоянная сильного взаимодействия превышала настоящее значение всего на 2%, то ядерная реакция (при которой два протона объединяются в ядро гелия с образованием гамма-кванта) протекала бы с очень большой скоростью. А реакция, при которой два протона объединяются в ядро дейтерия с образованием позитрона и нейтрино, была бы подавлена. В результате в звездах происходил бы катастрофически быстрый расход водорода и он бы весь «выгорел» еще на стадии ранней Вселенной.
3. Если бы значение постоянной слабого взаимодействия было отличным от существующего, то не происходили бы взрывы сверхновых звезд. А именно в результате взрывов сверхновых Вселенная обогащается тяжелыми элементами, без которых жизнь, по-видимому, невозможна.
4. Если бы протоны не обладали массой, значительно превосходящей массу электрона, то нуклеосинтез во Вселенной также был бы невозможен. Расчеты показывают, что если бы масса электрона была втрое больше нынешней, время «жизни» атома водорода составляло всего один месяц. В этом случае на той стадии расширения Вселенной, когда образовался нейтральный водород, он сразу бы распался и превратился в нейтроны и нейтрино, а сформировавшиеся в дальнейшем звезды состояли бы из одних нейтронов. В такой Вселенной не было бы ни атомов, ни молекул.

Итак, физики обнаружили, что даже небольшие отклонения значений мировых констант ведут к разрушению существующего мира. Возникают естественные вопросы:

- *Чем объясняется столь точное попадание числовых значений фундаментальных констант в узкий диапазон, который обеспечивает возникновение сложных материальных структур Вселенной, включая возникновение жизни и человека?*
- *Что означает их поразительная согласованность и чрезвычайно тонкая настройка?*
- *Не является ли все это проявлением некой целесообразности, изначально заложенной во Вселенную?*
- *Предполагает ли изначально такая целесообразность появление человека?*

Этот ряд вопросов приводит к некоторому принципу, носящему не физический, а философский характер, и получившему название *антропного принципа*. Он был выдвинут рядом ученых (А. Эддингтон, Р. Дикке, Б. Картер) во второй половине XX века. В формулировке Б. Картера так называемый *сильный антропный принцип* звучит так: «Вселенная должна быть такой, чтобы на некотором этапе эволюции ее параметры допускали существование наблюдателей». Таким образом, в антропном принципе прослеживается попытка обнаружить некий «высший план» в реализованном варианте Вселенной. В этом отношении он стоит в том же ряду, что и религиозные объяснения мира («Бог сотворил мир ради человека»). Известный английский физик и историк науки Пол Дэвис отмечает, что сильный антропный принцип представляет собой радикальный отход от традиционной общей концепции научного объяснения, так как в нем законы физики «подстраиваются» под заранее заданную возможность появления жизни и человека.

- Один из ведущих современных космологов российского происхождения, ныне живущий в США, А. Виленкин дает объяснение антропного принципа на основе выдвинутой им концепции «вечной инфляции», которая является развитием инфляционной космологии Алана Гута. Согласно этой концепции распад ложного вакуума, приводящий к Большому взрыву, рассматривается не как уникальное событие, а как случайный процесс, постоянно происходящий в разных областях Вселенной. В результате возникает множество миров, находящихся за горизонтом наблюдаемой нами Вселенной, причем свойства каждого такого мира определяются своим набором значений фундаментальных констант. В большинстве случаев этот набор констант исключает появление наблюдателей. Но чисто случайно может возникнуть мир, в котором набор фундаментальных констант допускает их появление. В одном из таких миров мы и находимся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ТРЕТЬЕМУ РАЗДЕЛУ

1. *Воронцов-Вельяминов*. Очерки о Вселенной. М. : Наука, 1969.
2. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. М. : Наука, 1987.
3. *Шкловский И. С.* Звезды, их рождение, жизнь и смерть. М. : Наука, 1984.
4. *Гуревич Л. Э., Чернин А. Д.* Происхождение галактик и звезд. М. : Наука, 1983.
5. *Черепашук А. М., Чернин А. Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино : Век 2, 2004.
6. *Чернин А. Д.* Физика времени. М. : Наука, 1987.
7. *Чернин А. Д.* Вращение галактик. М. : Знание, 1990.
8. *Завельский Ф. С.* Время и его измерение. М. : Наука, 1977.
9. *Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И.* Уставы небес. М. : Айрис Пресс, 2004.
10. *Вайнберг С.* Первые три минуты. М. : Энергоиздат, 1981.
11. *Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной. М. : Наука, 1979.
12. *Силк Дж.* Большой взрыв. М. : Мир, 1982.
13. *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М. : Мир, 1989.
14. *Хокинг С.* Краткая история времени. СПб. : Амфора, 2007.

Раздел четвертый

**Земля – среда обитания
живой материи**

Тема 18. Строение Земли. Геохронология

Основные вопросы:

18.1. Рождение Земли. Древнейший этап истории Земли.

18.2. Основные геофизические характеристики Земли.

18.3. Оболочки Земли.

18.4. Геохронология.

18.5. Тектонические теории и гипотезы.

18.6. Тектоника литосферных плит.

18.1. Рождение Земли. Древнейший этап истории Земли

Согласно современным космогоническим представлениям, заложенным О. Ю. Шмидтом, планеты Солнечной системы, в том числе Земля и Луна, образовались за счет аккреции (слипания) твердых частиц газопылевого протопланетного облака. Межзвездные облака, как правило, состоят из смеси газов и пылевых частиц микронного размера. Среди газов преобладают водород и гелий, а также имеются такие летучие соединения, как H_2O , CO , CO_2 , CH_4 , NH_3 и некоторые другие газы. Обычно исходная плотность межзвездных облаков недостаточна для гравитационного сжатия и развития в них самопроизвольных процессов образования звезд и планет. По предположениям астрофизиков, катализатором этого процесса мог послужить взрыв сверхновой (см. тему 14, вопрос 4). Взрывы сверхновых звезд сопровождаются возникновением в межзвездной среде ударных волн; если такие волны пересекают газопылевое облако, то на их фронте резко повышаются давление и плотность вещества, в результате чего могут возникнуть сгущения, способные в дальнейшем к сжатию уже за счет собственной гравитации. Таким образом, взрывы сверхновых не только обогащают космическое пространство тяжелыми химическими элементами, но также служат тем механизмом, который приводит к формированию новых поколений звезд и окружающих их планетных систем. По видимому, именно такая ситуация возникла около 4,7 млрд лет назад в окрестностях протосолнечного газопылевого облака. Получив импульс начального сжатия и вращения, а также пополнившись новым веществом,

полученным от взрыва сверхновой звезды, газопылевое облако в дальнейшем стало необратимо сжиматься под действием собственных гравитационных полей. По мере сжатия давление и температура в центральной части облака стали быстро повышаться и постепенно в этой зоне сформировался гигантский газовый сгусток – Протосолнце. Одновременно со сжатием протосолнечного облака под влиянием центробежных и гравитационных сил его периферийные участки постепенно стягивались к экваториальной плоскости вращения, становясь протопланетным облаком чечевицеобразной формы. Плотность вещества в протопланетном облаке быстро возрастала, особенно в экваториальной плоскости его вращения, а траектории движения частиц в нем под влиянием все более частых соударений и турбулентного торможения постепенно приближались к круговым кеплеровским орбитам. С повышением плотности вещества резко возрастала вероятность столкновения частиц и их слипания, в результате чего появились первые мелкие (порядка нескольких сантиметров, а потом и метров) комки вещества. Дальнейшее уплотнение роя этих первичных комков способствовало их ускоренному росту. Плотные сгустки пылевых частиц при своем движении сталкивались, объединялись и превращались в рой планетезималий, имеющих размеры до 1 км и состоящих из силикатов и никелистого железа. За несколько десятков тысяч лет скопления планетезималий превратились в зародыш планеты поперечником в сотни километров, и в течение приблизительно 100 млн лет (по современным оценкам) в результате аккреции планетезималий Земля уже сформировалась как планета [1].

Какой была первичная, только что родившаяся Земля – горячей или холодной? Для геологии этот вопрос имеет принципиальное значение. Еще в начале XX века ученые говорили о первичной «огненно-жидкой» Земле. Однако это противоречит современным геологическим представлениям о жизни планет. Если бы Земля изначально была расплавленной, то в этом случае, как утверждают геохимики, должны были бы сохраниться мощные древнейшие отложения карбонатных осадков, выпадавших из охлаждающейся атмосферы. Но подобных осадков не обнаружено. Кроме того, из раскаленной атмосферы расплавленной планеты должны были бы улечься благородные газы, но они присутствуют в атмосфере Земли. Все эти факты опровергают гипотезу о расплавленной Земле. Однако имелось значительное число факторов нагрева планеты: гравитация, соударение планетезималий, падение крупных метеоритов, распад радиоактивных элементов, твердые приливы, связанные с близким расположением спутника Земли – Луны. Этого тепла оказалось достаточно для разогревания внутренней части Земли и расплавления подповерхностного слоя. Когда температура отдельных участков планеты превышает точку плавления слагающих их веществ, наступает дифференциация – более тяжелые элементы (например, железо, никель) опускаются, а легкие, наоборот, всплывают.

Древнейший этап истории Земли – ее формирование в период 4,6–3,8 млрд лет назад. Процессы, протекавшие в то время, привели к дифференциации вещества внутри планеты, образованию первичной земной коры, выделению жидкого ядра Земли и появлению магнитного поля. Относительно механизма дифференциации Земли по составу вещества существуют две наиболее распространенные гипотезы. Согласно гипотезе *гомогенной аккреции* первоначальная Земля, сформировавшаяся сразу же после аккреции, была однородной, и только потом подверглась дифференциации на железоникелевое ядро и силикатную мантию. Более поздняя гипотеза *гетерогенной аккреции* утверждает, что сначала аккумуляровались наиболее тугоплавкие планетезимали, состоящие из железа и никеля, а потом в аккрецию вступило силикатное вещество. В настоящее время предпочтение отдается второй гипотезе.

Процессы внутренней дифференциации Земли происходили в течение всей ее геологической истории, продолжаются они и сейчас. Однако уже приблизительно 4 млрд лет назад у Земли уже было твердое внутреннее и жидкое внешнее ядро и отвердевшая мантия, то есть Земля уже была дифференцирована в современном виде. Об этом свидетельствует, в частности, намагниченность древних горных пород: как известно, магнитное поле Земли обусловлено взаимодействием жидкого внешнего ядра и твердого внутреннего (так называемый *магнитно-гидродинамический эффект*).

Основными факторами, определявшими начальное состояние Земли, были размеры и химический состав тел, из которых она сформировалась. В начальный период своего существования (от 4,6 до 3,8 млрд лет) Земля и другие планеты земной группы, а также Луна подвергались усиленной бомбардировке мелкими и крупными кометами, метеоритами и другими космическими обломками. Наиболее крупные тела, упавшие на Землю, создавали в ней значительные термические и химические неоднородности, простиравшиеся на тысячи километров, несомненно, оказав существенное влияние на характер ранней эволюции. Разрушение падавших тел приводило к разогреву вещества, а также выделению воды и газов из недр Земли. Другой источник выделявшихся газов и воды – вулканическая деятельность. Результатом конденсации газов и водяных паров явилось образование внешних оболочек Земли – гидросферы и атмосферы.

Первичная атмосфера Земли состояла из аммиака, метана, углекислоты, водяного пара, водорода, гелия, а также включала в себя борную, плавиковую, соляную и некоторые другие сильные кислоты. Облака плотным слоем покрывали Землю. Температура земной поверхности, скорее всего, была такой же высокой, как в настоящее время на Венере, а в недрах Земли бушевали вулканические процессы. Образование кратеров на земной поверхности могло спровоцировать излияния магмы с образованием

базальтовых полей, подобных тем, которые покрывают лунные «моря». В результате воздействия всех указанных факторов образовалась первичная кора Земли, которая впоследствии преобразовалась в кору нового типа.

Древнейшие этапы формирования Земли иногда называют *догеологическими*, так как горных пород и земной коры тех эпох практически не сохранилось. Поэтому история догеологического этапа не может быть восстановлена геологическими методами и все наши знания о нем базируются на общих представлениях о развитии Земли как космического тела.

Догеологический период продолжался до того времени, когда земная поверхность остыла до температуры существования жидкой воды. С появлением гидросферы, преобразованием атмосферы и земной коры начинается геологическая жизнь планеты Земля [2].

18.2. Основные геофизические характеристики Земли

Появившиеся в глубокой древности представления о форме и размерах Земли с течением времени менялись и трансформировались вместе с развитием естествознания. Уже древние греки знали, что Земля – шар, и сумели оценить его размеры. Идея о шарообразности Земли впервые была высказана Пифагором в VI в. до н.э. Первые доказательства шарообразности Земли были даны Аристотелем в IV веке до н.э. (они основывались на форме тени Земли, наблюдаемой во время лунных затмений). Впервые измерить радиус Земли – с помощью геометрических рассуждений – удалось Эратосфену в III веке до н. э. (см. тему 2, вопрос 3). Вплоть до XVII в. Землю считали точным шаром. В конце XVII в. И.Ньютон и Х.Гюйгенс математически доказали, что Земля должна быть сплюснута у полюсов из-за центробежной силы, возникающей при ее вращении. В XVIII в. это было подтверждено измерениями, когда стали применяться более точные методы геодезии. В настоящее время в качестве наиболее близкой Земле геометрической поверхности принимается эллипсоид вращения, получающийся вращением эллипса вокруг оси, проходящей через полюсы. Однако это приближение является не очень точным, так как экваториальные радиусы разнятся по своей длине. Современная наука трактует форму Земли как *геоид*, который получается продолжением поверхности Мирового океана таким образом, что во всех своих точках она остается перпендикулярной направлению силы тяжести. Если мысленно представить поверхность геоида, она будет продолжать поверхность Мирового океана, погружаясь под материки и как бы сглаживая рельеф. От поверхности геоида отсчитываются высоты «над уровнем моря». Во второй половине XX в. Земля стала восприниматься как космическое тело. Наглядным подтверждением этому может служить картина восхода Земли над поверхностью Луны, которая наблюдалась экипажем «Аполло-17» (рис. 16). Основные

параметры Земли были уточнены с помощью космических аппаратов. В частности, экваториальный радиус Земли оказался равным 6378,245 км, а полярный радиус – 6356,863 км; таким образом, разница между экваториальным и полярным радиусом составляет немногим более 21 км. Полная площадь поверхности Земли равна округленно 510 млн км², причем 361 млн км² приходится на океаны (около 71%) и 149 млн км² – на сушу (несколько более 29%). Свыше 1/3 поверхности суши занимают горы. Пустыни покрывают около 20% поверхности суши, саванны и редколесья – около 20%, леса – около 30%, ледники – свыше 10%. Объем Земного шара составляет $1,083 \cdot 10^{12}$ км³, а масса – $5,976 \cdot 10^{27}$ г. Зная массу Земли и ее объем, можно сосчитать ее среднюю плотность – она равна 5,52 г/см³, что более чем в 5 раз превосходит плотность воды. Отсюда следует, что в недрах Земли залегают породы, плотность которых значительно превышает ее среднюю плотность.



Рис. 16

Породы, слагающие поверхность Земли, разделяются на три большие группы: *магматические* (образовавшиеся в результате застывания на поверхности Земли или в недрах земной коры силикатного расплава – магмы); *осадочные* (образовавшиеся при осаждении неорганических и органических веществ на дно водных бассейнов); *метаморфические* (полученные в процессе изменения осадочных и магматических пород под влиянием высоких температур и давлений). В каждой группе пород существуют химические и минералогические разновидности, но все они имеют почти одинаковую плотность – около 3,5 г/см³. Большая часть поверхности Земли покрыта водой, плотность которой равна 1 г/см³. Если бы Земля состояла из скальных пород и воды, ее плотность была бы заключена между 1 и 3,5 г/см³. Даже в предположении, что в недрах Земли скальные породы сильно сжаты, их плотность не должна превосходить 3,8 г/см³.

- Еще в 1600 г. крупнейший ученый елизаветинской Англии Уильям Гильберт выдвинул гипотезу, что в недрах Земли должно содержаться значительное количество железа (он основывался на явлении отклонения магнитной стрелки). В 1691 г. Эдмонд Галлей высказал предположение, что данные о плотности Земли и ее магнетизме свидетельствуют о наличии железного ядра, а наблюдаемый дрейф магнитного поля говорит о том, что некоторая промежуточная область в недрах Земли должна быть жидкой (тогда при вращении Земли ядро будет «проскальзывать»). Это предположение оказалось правильным (см. 18.3).

Основные параметры Земли не остаются неизменными. Так, в силу физических причин земной радиус уменьшается каждые 100 лет на 5–12 см, что сопровождается увеличением давления во всех слоях Земли, а также перетоком новых масс в состав ядра и его уплотнением. Под действием внешних причин происходит изменение скоростей орбитального и осевого вращения Земли. Под влиянием притяжения Луны и Солнца в океанах и морях образуются приливные волны, перемещающиеся в направлении, противоположном вращению Земли, что приводит к уменьшению энергии ее вращательного движения. В земной атмосфере действуют постоянные воздушные течения, размеры которых сопоставимы с площадью материков. В результате трения воздушных потоков с земной поверхностью скорость осевого вращения Земли постепенно уменьшается.

В числе многих химических элементов, входящих в состав Земли, имеются и радиоактивные. Их распад, а также гравитационная дифференциация (т.е. перемещение более плотных веществ в центральные, а менее плотных в периферические области планеты) приводят к выделению тепла. Температура в центральной части Земли порядка 5000°C . Максимальная температура на поверхности приближается к 60°C (в тропических пустынях Африки и Северной Америки), а минимальная составляет около -90°C (в центральных районах Антарктиды). Тепло из недр Земли передается к ее поверхности благодаря теплопроводности и конвекции.

В начале XVII в. У. Гильберт выдвинул гипотезу о Земле как большом магните, имеющем два полюса. В настоящее время установлено, что Земля обладает магнитным и электрическим полями. Магнитное поле над поверхностью Земли складывается из постоянной (или меняющейся достаточно медленно) «главной» части и переменной части – последнюю обычно относят к вариациям магнитного поля. Главное магнитное поле имеет структуру, близкую к дипольной. Оно сходно с полем, которое создавалось бы плоским магнитом, ось которого проходит через центр Земли и наклонена к оси вращения Земли под углом около 20° . Поэтому магнитные полюса Земли располагаются вблизи географических полюсов, но не совпадают с ними. На форму магнитного поля Земли значительное влияние оказывает так называемый *солнечный ветер* – поток заряженных частиц, выбрасываемых Солнцем. Под воздействием солнечного ветра магнитное поле Земли становится несимметричным, вытягиваясь в сторону, противо-

положную Солнцу (в сторону Солнца оно простирается на 70–80 тыс. км, а в противоположную сторону – на многие миллионы километров). Магнитное поле Земли оказывает влияние на ориентировку ферромагнитных минералов в горных породах: крошечные включения железной руды в расплавленных породах в процессе их застывания принимают существующую в то время ориентировку магнитных силовых линий. После того, как эти породы окончательно застынут, ориентировка ферромагнитных минералов сохраняется навечно. Это дает возможность определять направление магнитного поля в прошлые геологические эпохи. Оказывается, магнитное поле Земли неоднократно менялось, причем изменялось не только географическое положение магнитных полюсов, но происходила их смена (инверсия): северный магнитный полюс становился южным, а южный – северным [3].

18.3. Оболочки Земли

По существу, поверхность Земли является поверхностью раздела. Она отделяет твердое тело Земли от расположенной на ее поверхности жидкой оболочки – гидросферы и внешней газовой оболочки – атмосферы. Верхнюю границу атмосферы проводят на высоте порядка 1000 км. В свою очередь, атмосфера подразделяется на пять сфер: *тропосферу*, *стратосферу*, *мезосферу*, *термосферу* и *экзосферу*. Это деление было принято в 1962 г. по предложению Всемирной метеорологической организации, причем в качестве основного параметра, определяющего структуру атмосферы, взята температура воздуха.

Тропосфера имеет среднюю высоту 10 км, составляя по объему менее 2% всей атмосферы. Вместе с тем, в ней содержится более 80% общей массы атмосферы. В тропосфере сосредоточены основные запасы водяного пара и, благодаря постоянному перемешиванию воздушных слоев, там возникают мощные воздушные циклоны и антициклоны.

Пары воды и облачность вместе с углекислым газом влияют на потоки Солнечного излучения и вносят большой «вклад» в создание парникового эффекта (см. тему 22, вопрос 3). С высотой температура тропосферы убывает, опускаясь в верхних слоях до -70°C .

Именно в тропосфере формируется погода. Как это происходит? В экваториальных широтах влажный теплый воздух поднимается вверх до тех пор, пока не встретит препятствие в виде *тропопаузы* (границы между тропосферой и стратосферой) и затем распространяется вширь. При этом, удаляясь от экватора, он остывает и опускается вниз. В умеренных широтах характер погоды определяется «противоборством» воздушных масс высокого и низкого давления, а неравномерность давления обусловлена неравномерностью распределения солнечного тепла над поверхностью

Земли. В целом атмосфера всегда стремится к состоянию равновесия (об этом говорил еще Эдмонд Галлей) – оно достигается перемещением воздушных масс из областей высокого давления в области низкого давления, т.е. при помощи ветра.

Над тропосферой находится *стратосфера*, ее верхняя граница проводится на высоте 80 км. До высот порядка 40 км температура воздуха в стратосфере колеблется в пределах от -40 до -50°C , а затем она возрастает, достигая положительных значений порядка 15°C . В последнее время в стратосфере обнаружена активная вертикальная циркуляция воздушных масс, приводящая к постоянству ее газового состава. В верхней части тропосферы и в стратосфере на высоте 12–50 км находится озоновый слой, причем максимальная концентрация озона наблюдается на высотах 15–25 км. Озоновый слой образует экран, защищающий все живое на Земле от губительного ультрафиолетового излучения Солнца.

В *мезосфере* с ростом высоты температура газа понижается, падая в ее верхней части до -90°C . В *термосфере*, наоборот, температура газа растет, достигая 400°C на высоте около 200 км. В *экзосфере* (выше 800 км) температура стабилизируется, достигая 1500°C .

Между атмосферой и твердой земной поверхностью располагается водная оболочка Земли – *гидросфера*. Около 94% массы гидросферы составляет Мировой океан; из оставшихся 6% около 3/4 приходится на поверхностные и подземные воды и 1/4 – на горные ледники и ледники Гренландии и Антарктики. Гидросфера сыграла важную роль в зарождении жизни на Земле. Динамические процессы, происходившие в гидросфере, способствовали формированию осадочных горных пород, что определило будущий ландшафт Земли.

Представления о составе и физическом состоянии областей, находящихся в земных глубинах, основываются на комплексных геофизических исследованиях недр Земли. Непосредственным геологическим методам доступна лишь самая верхняя часть земной коры. Так, самая глубокая в мире скважина – Кольская сверхглубокая – достигла отметки около 12,3 км (если уподобить земной шар яблоку, то эта скважина не прошла еще его кожуру). Данные о составе земных пород до глубин порядка 200 км получаются на основе химического анализа продуктов извержения вулканов. Если основным инструментом исследования космического пространства являются электромагнитные волны, то инструментом исследования земных глубин, недоступных прямому наблюдению, являются сейсмические волны.

- Сейсмическое зондирование основано на различиях в скорости распространения сейсмических волн в разных средах. При землетрясениях и взрывах возникают сейсмические волны двух типов: продольные (периодические сжатия и разрежения вещества, передающиеся по направлению их распространения), и поперечные (возникающие в результате сдвигов в упругом веществе). Скорости рас-

пространения продольных и поперечных волн различны, причем поперечные волны распространяются только в твердых телах. По времени пробега сейсмических волн от очага взрыва (или землетрясения) до различных сейсмических станций определяется скорость их распространения на различных глубинах Земного шара и тем самым получается достаточно надежное представление о строении недр Земли.

По данным сейсмического зондирования выделены три основные оболочки Земли: *земная кора, мантия Земли и ядро Земли* (рис. 17). Земная кора – твердая оболочка Земли – имеет среднюю толщину 35 км. С поверхности она сложена осадочными горными породами (глинами, песками, песчаниками, галечниками, гипсами, известняками), объединяемыми под названием «осадочный слой».

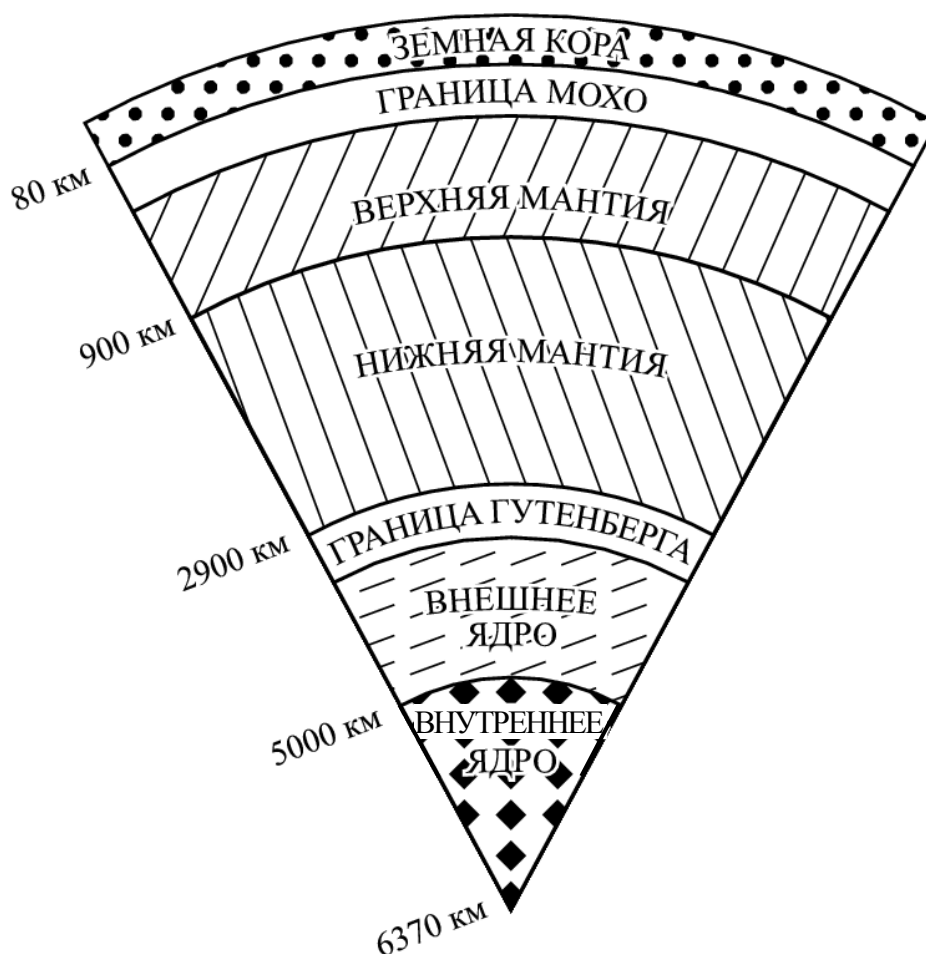


Рис. 17

Древние толщи осадочных пород под действием господствующих в недрах земной коры высоких температур и давлений преобразовались в метаморфические породы (гнейсы, сланцы, мраморы). Основные типы земной коры – континентальный (материковый) и океанический; в переходной зоне от материка к океану развита кора промежуточного типа.

Толщина коры меняется в довольно широких пределах: океаническая кора (с учетом слоя воды) имеет толщину порядка 10 км, тогда как толщина материковой коры достигает 70–80 км. Материковая кора состоит, в основном, из гранитов. По своему химическому составу земная кора, в основном, образована из восьми химических элементов: кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, магний, натрий и калий. Половина всей массы коры приходится на кислород, который содержится в ней в связанных состояниях, главным образом, в виде окислов металлов. Геологические особенности коры определяются совместными действиями на нее атмосферы, гидросферы и биосферы – этих трех внешних оболочек планеты.

Под земной корой до глубины 2900 км располагается мантия. Граница между земной корой и мантией выделяется довольно резко. Сейсмический раздел между ними впервые был установлен югославским сейсмологом Мохоровичичем и в честь него называется *границей Мохо*. Верхний слой мантии состоит из «размягченных» пластичных горных пород и называется *астеносферой*. Между границей Мохо и астеносферой располагается переходный твердый *надастеносферный слой*, представляющий собой «подстилку» земной коры. В нижней части мантии с ростом давления и температур изменяется минеральная фаза и плотность «упаковки» ионов в кристаллической решетке, в результате чего происходит переход вещества в более плотные модификации.

На глубине 2900 км сейсмическими методами обнаружена новая граница, отделяющая мантию от ядра (так называемая *граница Гутенберга*). Ядро Земли состоит из нескольких слоев. На глубине 2900–4980 км располагается внешнее ядро, а ниже 5120 км находится внутреннее ядро. На этой глубине давления превышают 500 тыс. атмосфер, а температуры составляют тысячи градусов. Современные геофизические данные говорят о том, что внешнее ядро Земли является жидким! Доказательством этому служит тот факт, что внешнее ядро не пропускает поперечные упругие волны, но пропускает продольные. Таким образом, твердое ядро «плавает» внутри жидкого.

Вопрос о составе и физической природе ядра Земли до сих пор является дискуссионным. Длительное время считалось, что ядро состоит из никелистого железа (по аналогии с железными метеоритами). По современным данным, при существующих в ядре давлениях и температурах плотность ядра оказывается на 10% ниже, чем у железоникелевого сплава. На основании этого многие исследователи считают, что ядро состоит из железа с примесью никеля, серы и кремния.

Земная кора вместе с твердым верхним слоем мантии, находящимся выше астеносферы, называется *литосферой*. Толщина (или, как говорят в геологии, мощность) литосферы составляет от 80 до 150 км. По современным геологическим представлениям литосфера состоит из обширных ли-

тосферных плит, которые «плавают» на размягченном слое астеносферы. Их вековые перемещения не только определяют дрейф континентов, заметно влияющий на облик Земли, но также имеют отношение к расположению сейсмических зон на планете (см. вопрос 18.6). Литосферу вместе с гидросферой и атмосферой причисляют к внешней оболочке Земли, а мантию и ядро – к внутренней. Такое деление вызвано тем, что литосфера, гидросфера и атмосфера участвуют в обменных процессах с окружающей средой. Благодаря ветровой эрозии, частицы твердого вещества литосферы вместе с живущими в них микроорганизмами попадают в атмосферу. Восходящими потоками воздуха они поднимаются на высоту до 20–22 км и переносятся на тысячи километров [3].

Верхней границей литосферы, граничащей с атмосферой, служит почва – биогенный слой, который образовался из продуктов жизнедеятельности и разложения живых организмов. Процесс разложения органического вещества происходит благодаря деятельности микроорганизмов, а в непосредственном формировании почвы существенную роль играют живущие в земле живые организмы, которые способствуют ее разрыхлению и улучшают ее аэрацию (важную роль червей для улучшения плодородия почвы отмечал еще Ч. Дарвин). В процессе образования почвы происходит поглощение газов атмосферы, перевод их в нерастворимые химические соединения и формирование осадочных пород. Таким образом, почвенный покров ограничивает уход в атмосферу таких газов, как кислород, азот, водород. В структуре почвы различают частично разложившиеся органические остатки – *подстилку* и полностью разложившиеся – *гумус*. Именно гумус является основным источником питательных веществ для всех обитающих на Земле живых организмов. Благодаря деятельности животных и растений происходит биогенный процесс обмена веществом и энергией между литосферой и атмосферой. Связующим звеном между ними служит почва.

18.4. Геохронология

В современном строении земной коры запечатлены результаты длительной и сложной геологической истории, в течение которой происходили многократные изменения состава и внутреннего строения земной коры, рельефа поверхности и органического мира планеты Земля. Раздел геологии, изучающий временную последовательность геологических событий, называется *геохронологией*. При этом различается *относительная геохронология* (изучающая относительную древность, молодость или одновременность происходивших геологических событий), и *абсолютная геохронология*, занимающаяся определением абсолютного возраста этих событий. Абсолютная геохронология предложена в начале XX в. П. Кюри и

Э. Резерфордом. Для целей абсолютной геохронологии, исчисляемой в тысячах и миллионах лет и устанавливающей так называемый *радиометрический возраст минералов*, используются данные о скоростях распада входящих в их состав радиоактивных изотопов урана, тория, рубидия, калия, углерода и водорода, которые являются постоянными и не меняются под воздействием внешних условий.

Период полураспада этих элементов точно известен. Поэтому метод определения возраста минералов состоит в том, что находится отношение массы вновь образованного химического элемента к массе «материнского» изотопа в данном минерале. Отсчет времени по атомным часам начинается сразу же после кристаллизации минерала, который все последующее время ведет себя как замкнутая система, сохраняя при этом как продукты распада, так и массу исходного «материнского» изотопа, оставшуюся после распада. Наука, занимающаяся определением абсолютного возраста минералов и горных пород, называется *радиологией*. Постоянство скорости радиоактивного распада, а также широкое распространение радиоактивных элементов в горных породах, минералах, природных водах, почвенном и атмосферном воздухе имеют первостепенное значение для геологической хронологии.

Радиогеохронологическими методами установлено, что абсолютный возраст Земли равен 4,6 млрд лет, а возраст древнейших обломочных минералов, в частности цирконов, найденных в Западной Австралии, составляет более 4 млрд лет.

Шкала относительной геохронологии отражает последовательность во времени тех или иных геологических событий, происходивших в истории земной коры. Еще в XVII веке был установлен *закон последовательности напластований*, согласно которому нижележащие слои горных пород в своем ненарушенном состоянии всегда более древние, чем вышележащие. Пласты морских осадочных пород одного и того же возраста содержат одинаковые останки древних организмов. Эти обстоятельства способствовали созданию методов расчленения и сопоставления разрезов земных пластов. В результате на стыке геологии и биологии появилась *палеонтология* – наука, занимающаяся изучением ископаемых останков животных и растений и играющая важную роль в установлении закономерностей эволюционного развития органического мира.

В начале XIX в. возникла реальная возможность построения сводной геологической шкалы для важнейших событий в геологической истории Земли. В соответствии с геохронологической шкалой, принятой в 1881 г., для указания возраста геологических событий используются такие временные единицы, как *эры* (продолжительность – десятки и сотни миллионов лет) и *периоды* (миллионы и десятки миллионов лет).

Более поздние этапы эволюции земной коры удастся проследить по данным накопления осадочных пород, палеонтологической летописи (окаменелости, остатки жизнедеятельности древних организмов), палеомагнитным данным (остаточная намагниченность лав магнитным полем Земли в момент их затвердевания) и методами изотопной геохронологии.

В течение всей геологической истории Земли непрерывно происходили *дислокации* – движения в земной коре, изменяющие ее строение и взаимные отношения пластов горных пород. При этом имела место определенная цикличность – за периодами, характеризующимися горообразованием, следовали промежутки, в течение которых созданные ранее горные цепи подвергались усиленному размыву. Поэтому говорят о тектонических циклах – циклах дислокаций, сменяемых циклами эрозии (выветривания и размыва). В геологии различают следующие тектонические циклы: несколько *древнейших*, происходивших в архейскую и протерозойскую эры; затем *каледонский* – в первой половине палеозойской эры и *вариссийский* (или *герцинский*) – во второй половине этой эры; *альпийский* – в мезозойскую и кайнозойскую эры (последний иногда подразделяют на *тихоокеанский* в мезозойской эре и собственно *альпийский* в кайнозойской эре).

Геохронология представляет собой прослеживание основных геологических событий в истории Земли – циклов дислокаций, горообразования, эрозии, вулканизма, трансгрессий и регрессий; она основана, главным образом, на изучении окаменелостей [4].

18.5. Тектонические теории и гипотезы

Гипотезы о движениях и изменениях земной коры существуют с давних времен. Так, еще в начале XVI в. Леонардо да Винчи, наблюдая при прокладке каналов морские раковины в осадочных горных породах, сделал правильный вывод об изменчивости очертаний суши и моря при образовании земных слоев. В XVII в. Френсис Бэкон объяснял сходство очертаний западного берега Африки и восточного берега Южной Америки связью этих континентов в прошлые эпохи. Об этом же говорит одинаковость ископаемых растений, а также непрерывность реликтовых горных хребтов. М. В. Ломоносов в своем сочинении «О слоях земных» (1763) впервые представил геологию как науку о развитии Земли в результате взаимодействия геологических процессов природы. К Ломоносову восходит эволюционное направление и сравнительно-исторический метод в геологии, развитый в XIX в. Чарльзом Лайелем.

В современной геологии одним из важнейших разделов является *тектоника* (или *геотектоника*), изучающая формы залегания горных пород, а также структуру и историю развития земной коры [5]. К достижен-

ям тектоники XX в. относится разработка понятия о двух основных структурных формах развития земной коры: *платформах* и *геосинклиналях*.

Платформами называют наиболее древние площади земной коры, испытавшие складчатое горообразование уже в докембрийские эры и с тех пор больше не подвергавшиеся интенсивной складчатости. В платформах выделяют *щиты* – участки, которые со времени последнего этапа складчатости характеризуются устойчивым поднятием и совсем не покрывались морем. Значительные площади платформ периодически поднимались и погружались, захватывались морем. Вследствие этого на них лежит мощный чехол осадочных пород, не смятый интенсивной складчатостью и с почти горизонтальными пластами. Такие участки платформ называются *плитами*.

Платформы слагают среднюю часть материков: в Евразии это Русская платформа со щитами Балтийским и Украинским; Сибирская платформа со щитами Анабарским и Алданским; Синийская платформа в Северном Китае; щиты Аравийский и Индостанский. В Северной Америке – Северо-Американская платформа с Канадским щитом, в Южной Америке – Южно-Американская с Бразильским щитом. Почти вся Африка представляет собой платформу с несколькими щитами, так же как Австралия – с большим щитом на востоке. Весь материк Антарктиды занимает платформа с большим древним щитом.

Учение о геосинклиналях ввели во второй половине XIX в. американские геологи Дж. Холл и Д. Дэна. Под геосинклиналями понимаются длинные (десятки и сотни километров) относительно узкие и глубокие прогибы земной коры, возникающие на дне морских бассейнов. Они постепенно заполняются мощными толщами осадочных и вулканических пород и в результате длительных интенсивных тектонических деформаций превращаются в сложную складчатую структуру – часть горного сооружения. Геосинклиналь образует подвижную область земной коры, в которой тектонические движения и магматические явления отличаются большой интенсивностью. В то же время платформа представляет собой такую область земной коры, в которой движения земной коры практически отсутствуют.

Геологическая история Земли показывает, что образование складчатых горных стран происходило последовательно в разных частях большинства материков, так как геосинклинали с течением времени перемещались. Поднявшиеся горные цепи постепенно старели, размывались, понижались, превращались в горы средней высоты, затем в холмистые территории и, наконец, в равнины. А по соседству с той или другой стороны образовывался новый прогиб земной коры, новая геосинклиналь, которая заполнялась осадками и давала начало новой горной цепи, с которой происходили аналогичные процессы. Так, в Европе на севере находятся остатки

древних архейских и протерозойских гор в виде так называемого Балтийского щита, превратившегося в «почти равнину». С запада к ней примыкает горная страна, созданная складками каледонского цикла в первой половине палеозоя; она охватывает запад Скандинавии, Великобританию и север Франции и Германии. Южнее от Польши до Франции и Испании тянутся горные складки варисцийского цикла второй половины палеозоя. Наконец, на юге, вдоль Средиземного моря пролегают горные цепи Малой Азии, Кавказа, Балкан, Карпат, Альп, Пиренеев, Апеннин и Атласа, созданные во время альпийского цикла в мезозойскую и кайнозойскую эры.

18.6. Тектоника литосферных плит

Начало XX века ознаменовалось появлением гипотезы, которой в дальнейшем было суждено сыграть ключевую роль в науках о Земле. Ф. Тейлор (1910), а вслед за ним А. Вегенер (1912) высказали идею о горизонтальных перемещениях материков на большие расстояния (дрейфе материков). Эта гипотеза подтвердилась в 1960-х гг. после открытия в океанах глобальной системы срединно-океанических хребтов, опоясывающих весь земной шар и местами выходящих на сушу (так называемая *мировая система рифтов*). Выяснилось также, что земная кора под океанами принципиально отличается от континентальной коры, а мощность осадков на дне увеличивается от гребней хребтов к их периферии. Были закартированы аномалии магнитного поля океанского ложа, имеющие симметричную относительно осей хребтов структуру; была установлена локализация глубин гипоцентров (очагов) землетрясений; был развит палеомагнитный метод, позволивший установить перемещения континентов относительно магнитных полюсов Земли. Все эти и другие результаты послужили основанием для возврата к идеям дрейфа континентов, но уже в новой форме – *тектоники литосферных плит*. Концепция тектоники литосферных плит возникла в геологии на рубеже 60–70-х гг. XX века и быстро превратилась в ведущую геотектоническую теорию. Основная идея теории литосферных плит базируется на разделении литосферы – верхней оболочки Земли – приблизительно на 15 жестких литосферных плит, находящихся в постоянном движении. Эти плиты разделены срединно-океаническими хребтами и глубокими океаническими желобами. Литосферные плиты имеют толщину 75–100 км и как бы «плавают» на верхнем вязком слое мантии – астеносфере.

Вместе с плитами перемещаются континенты (следует иметь в виду, что плиты лишь весьма приблизительно соответствуют материкам и континентам, поэтому перемещения плит и перемещения материков – это не одно и то же). Если уподобить земной шар арбузу, то литосферные плиты превратятся в аналог арбузной корки, порезанной на несколько крупных

фрагментов. Среди 15-ти литосферных плит различают 7 основных – Австралийская, Тихоокеанская, Северо-Американская, Южно-Американская, Африканская, Евразийская, Антарктическая и ряд малых плит – Аравийская, Китайская, Индокитайская, Наска, Охотская, Филиппинская и др. (рис. 18).

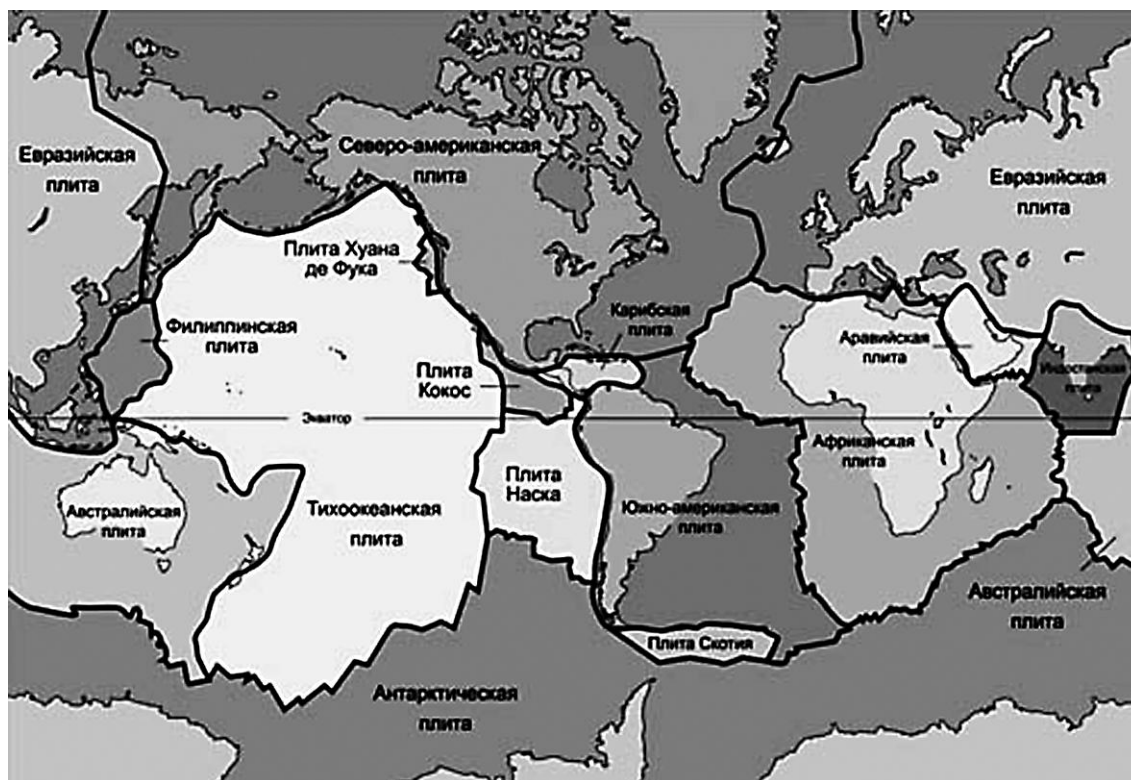


Рис. 18

Важным является тот факт, что внутри плит не бывает землетрясений, в то время как по краям плит сейсмичность очень высокая. По характеру напряжений в очагах землетрясений, происходящих на краях плит, границы между плитами делятся на два типа: *дивергентные* (там, где плиты расходятся) и *конвергентные* (там, где плиты сходятся). С помощью современных геодезических методов с использованием космической геодезии, лазерных измерений достоверно установлено, что литосферные плиты находятся в постоянном движении и найдены закономерности их перемещений. В частности, оказалось, что океанские плиты движутся быстрее тех, в состав которых входят континенты, причем с увеличением толщины плиты скорость ее движения уменьшается. Средняя скорость сближения литосферных плит составляет 10–12 см в год.

Причиной движения литосферных плит является конвективный перенос вещества мантии Земли, находящегося в нагретом пластическом состоянии (конвекция – перенос масс под влиянием различия плотностей и температур). Относительно более нагретые слои мантии, поднимаясь к по-

верхности Земли, подвергаются плавлению и изливаются в виде базальтовых лав в рифтовых зонах срединно-океанских хребтов. В эти застывшие породы вновь внедряется базальтовая магма, и так происходит много раз подряд. В результате океанское дно как бы разрастается (скорость его разрастания колеблется от нескольких миллиметров до 18 см в год). Этот процесс получил название *спрединга*.

По мере удаления от срединно-океанских хребтов океанская литосфера становится холоднее и тяжелее, поэтому она постепенно опускается, погружаясь в астеносферу и продавливая ее. Когда тяжелая океанская литосфера подходит к более легкой континентальной, она уходит под нее (как бы «подныривает»). При подходе океанской плиты к континентальной она начинает изгибаться, в ней возникают напряжения, при разряде которых происходят землетрясения. Гипоцентры землетрясений четко маркируют границу трения между двумя плитами, образующую наклонную зону, которая погружается под континентальную литосферу до глубин 700 км (так называемая *зона Беньофа*).

Другой тип столкновения литосферных плит, характерный для континентальных плит, – их *коллизия*. В силу одинаковой относительной легкости слагающего их материала, они не могут погрузиться одна под другую и сталкиваются, образуя горно-складчатый пояс со сложным внутренним строением. Так, например, 50 млн лет назад при столкновении Индостанской плиты с Азиатской возникли Гималайские горы. Так сформировался Альпийский горно-складчатый пояс при коллизии Африкано-Аравийской и Евразийской континентальных плит. Величайшая горная цепь Земли – Анды – появилась в результате столкновения Южно-Американской литосферной плиты с океанской плитой Наска, расположенной в юго-восточной части Тихого океана.

Движение литосферных плит привело к перемещению континентов. Перемещение Африки в северо-восточном направлении и постепенное сокращение расстояния между ней и южной Евразией вызвало сокращение и «закрытие» океана Тетис (от которого остались реликтовые Средиземное и Черное моря), а также образование Атлантического океана. Дно Тетиса вышло на поверхность Земли в виде горных систем Пиренеев, Альп, Карпат, Крыма, Кавказа, Эльбруса, горных систем Турции и Ирана. В тесной зависимости от тектонических движений и скоростей перемещения литосферных плит в течение всей геологической истории Земли менялся ее рельеф. Наиболее контрастным и возвышенным он был в местах столкновения континентальных литосферных плит.

Тектоника плит дала объяснение не только поверхностной динамике Земли, но и многим другим явлениям – землетрясениям, образованию цепочек островов, расположению гор, наступлению ледниковых периодов и др.

Кроме того, движение литосферных плит повлекло за собой глобальные изменения оболочек Земли, что привело к изменению климата планеты. И все же, несмотря на грандиозные события, происходившие во время геологической истории Земли, некоторые ее параметры изменялись незначительно, оставаясь в достаточно узком диапазоне. К числу таких параметров относится средняя температура земной поверхности: она никогда не отклонялась ниже 8°C и выше 10°C от современной. Это одно из обстоятельств, способствовавших сохранению жизни на нашей планете в течение трех с половиной миллиардов лет.

Тема 19. Геологическая история жизни на Земле

Основные вопросы:

19.1. Эпоха скрытой жизни.

19.2. Развитие жизни в палеозойскую эру.

19.3. Эволюция Земли в мезозойскую эру.

19.4. Современный этап развития Земли – кайнозой.

19.1. Эпоха скрытой жизни

История жизни на Земле неотделима от ее геологической истории, на фоне которой она протекала [6, 7]. Геологическая история Земли подразделяется на пять эр, охватывающих в совокупности огромный временной промежуток в 4,6 млрд лет. Названия эр имеют греческое происхождение и обозначают соответствующий тип жизни: *архей* или *археозой* (древнейшая жизнь), *протерозой* (первичная жизнь), *палеозой* (древняя жизнь), *мезозой* (средняя жизнь), *кайнозой* (новая жизнь). Отложения археозойской и протерозойской эр содержат чрезвычайно мало ископаемых остатков организмов и по этому признаку археозой и протерозой объединяют общим названием – *криптозой* (период скрытой жизни). Длительность криптозооя – около 4 млрд лет, то есть более 80% геологической истории Земли. Три последующие эры, наступившие после криптозооя, имеют общую продолжительность менее 600 млн лет. Они составляют так называемый *фанерозойский эон* или *фанерозой* – эпоху явно наблюдаемой жизни. Рассмотрим вкратце основные события геологической истории криптозооя.

В геологии криптозой делят на 4 этапа, *временные* границы которых указаны ниже. (Следует отметить, что датировки, приводимые в разных источниках, не совпадают. Здесь и далее приводятся усредненные данные.)

1-й этап – *древнеархейский* или *катархейский* (4,6–3,7 млрд лет назад);

2-й этап – *архейский* (3,7–2,6 млрд лет назад);

3-й этап – *раннепротерозойский* (2,6–1,7 млрд лет назад);

4-й этап – *позднепротерозойский* (1,7–0,6 млрд лет назад).

Все эти этапы отличались один от другого своими физико-географическими и климатическими условиями, а также масштабами развития геологических процессов. Древнейшими породами на Земле являются древнеархейские, которые образовались 3,5–3,8 млрд лет тому назад и представляют собой реликты земной коры. Из них сложены щиты самых древних платформ – Северо-Американской, Австралийской, Индостанской, Африканской, Восточно-Европейской, Сибирской. И уже в этих древнейших породах прослеживаются следы органической жизни. Они представлены останками бактерий и вирусов, которые захоронены в породах и видны под большим увеличением. Это свидетельствует о том, что жизнь на Земле стала формироваться практически одновременно с формированием планеты. Многочисленные находки в виде окаменелостей, отпечатков и других свидетельств позволяют реконструировать процессы зарождения и развития жизни [8].

Жизнь на Земле возникает на границе катархея и архея. Организмы архейской эры – сине-зеленые водоросли и бактерии. Все эти организмы жили в океане на значительных глубинах, так как от губительного ультрафиолетового излучения Солнца их могла защитить только толща воды. Это были уже живые организмы с развитой системой обмена веществ и способностью к размножению. К концу архея появились колониальные водоросли, а также водорослевые известковые постройки – строматолиты.

Следующий отрезок геологической истории Земли, в течение которого образовались осадочные породы, не так сильно измененные, как архейские, называется *протерозойской эрой*. Протерозойская эра отделена от архейской большим перерывом, в течение которого происходила дислокация архейских пород. Затем созданные этой дислокацией складчатые горы были глубоко размыты, прежде чем началось отложение протерозойских осадков. В течение раннепротерозойского этапа происходит снижение внутренних тепловых потоков и температур на земной поверхности по сравнению с археем. По этой причине земная кора остыла настолько, что с поверхности стала легко подвергаться дроблению и раскалыванию. В результате возникла планетарная сеть разломов и трещин, заполнявшихся магматическими породами. К концу раннего протерозоя, т.е. к рубежу 1,7 млрд лет назад, новая континентальная кора существовала уже на 60–80% (по разным оценкам) площади ее современного распространения. Более того, имеется представление, подтверждаемое палеомагнитными данными, согласно которому на этом этапе вся континентальная кора составляла единый массив, называемый *Мегагея* («*Большая Земля*»), а остальная часть земной поверхности представляла собой океан, получивший название *Мегаталасс* («*Большое Море*»). На следующем этапе развития Земли,

в позднем протерозое (1,7–0,6 млрд лет назад) Мегатея стала постепенно подвергаться раскалыванию, которое резко усилилось в конце протерозоя. Следями этого процесса являются протяженные континентальные рифтовые системы, погребенные в основании осадочного чехла древних платформ. В результате образовались обширные межконтинентальные геосинклинальные пояса – Северо-Атлантический, Средиземноморский, Урало-Охотский, разделившие континенты Северной Америки, Восточной Европы, Восточной Азии и наиболее крупный обломок Мегатеи – южный суперконтинент Гондвану.

В начале протерозойской эры атмосфера Земли была ещё бескислородной. Однако благодаря деятельности фотосинтезирующих бактерий (появившихся ещё в архее, около 3 млрд лет назад), к середине протерозойской эры в атмосфере и гидросфере постепенно накапливается кислород. В водах океана появляются многоклеточные зелёные и бурые водоросли, а также грибы. Во второй половине протерозойской эры жизнь становится более разнообразной – об этом свидетельствуют остатки одноклеточных и многоклеточных организмов. В протерозойских отложениях возраста около 650 млн лет находят представителей вполне сформировавшихся типов животных: губок, кишечнополостных, членистоногих. В настоящее время установлено, что примерно 700 миллионов лет назад планета пережила серию глобальных оледенений. После этого в морях стали активно развиваться мягкотелые формы жизни – медузы, предки морских червей и современных иглокожих, которые стали предшественниками форм жизни, имеющих внешний скелет в виде панциря. К концу протерозойской эры на Земле обитали все типы беспозвоночных животных и водоросли.

- Следует заметить, что даты границ геологических периодов постоянно уточняются и в 2004 году международная комиссия по стратиграфии (ICS) впервые за 120 лет добавила в геохронологическую шкалу Земли новый геологический период – Эдиакарский, который охватывает временной отрезок от 600 до 542 миллионов лет назад и находится на рубеже позднего протерозоя и раннего палеозоя.

В течение архея и протерозоя живые организмы произвели огромную геохимическую работу – главным её итогом стало накопление в атмосфере фотосинтетического кислорода и извлечение больших масс углекислоты. В дальнейшем это привело к формированию озонового экрана, защитившего земную поверхность от губительного ультрафиолетового излучения. В результате взаимодействия бактерий с минеральными веществами на суше образовался биогенный слой – почва. Всё это подготовило условия для выхода на сушу вначале растений, а потом животных.

Граница между протерозойской и палеозойской эрами отмечается поразительными изменениями в составе и богатстве ископаемой фауны. После толщи верхнего протерозоя, почти лишённой следов жизни, в оса-

дочных породах кембрия (первого периода палеозойской эры) вдруг появляется огромное разнообразие и обилие остатков ископаемых организмов. К концу кембрия прослеживаются почти все известные типы многоклеточных животных. Этот внезапный «взрыв формообразования» на границе протерозоя и палеозоя – одно из самых загадочных событий в истории жизни на Земле.

19.2. Развитие жизни в палеозойскую эру

Палеозойская эра (570–240 млн лет назад) продолжалась около 330 млн лет и по своей длительности превосходит все последующие эры. Она подразделяется на *ранний палеозой* (570–360 млн лет назад) и *поздний палеозой* (360–240 млн лет назад). К раннему палеозою относят периоды:

- *кембрийский* (570–500 млн лет назад);
- *ордовикский* (500–440 млн лет назад);
- *силурийский* (440–410 млн лет назад);
- *девонский* (410–360 млн лет назад).

Поздний палеозой составляют два периода:

- *каменноугольный*, или *карбон* (360–285 млн лет назад);
- *пермский* (285–240 млн лет назад).

На протяжении палеозойской эры выделяют два тектонических цикла – *каледонский* и *варисцийский* (*герцинский*). Начало каледонского цикла относят к позднему кембрию, а конец – к среднему девону. В результате горообразовательных процессов в этот период возникли горы северной Европы, Северные Аппалачи США, горы юго-восточного Китая, северный Тянь-шань. В конце девонского периода начался новый – герцинский цикл, который закончился в конце пермского периода, около 240 млн лет назад. В герцинский цикл сформировались крупные горные хребты и массивы (Уральские горы, горы центральной и юго-восточной Азии, Южные Аппалачи). Горообразование сопровождалось отступлением моря (регрессией) и увеличением площади суши. В целом поздний палеозой – эпоха крупных природных катастроф. Во многих районах Земли происходили сильнейшие землетрясения, крупные вулканические извержения, обширные наводнения. К концу палеозоя межконтинентальные геосинклинальные пояса полностью замкнулись и заполнились складчатыми системами. В результате образовался единый суперконтинент – *Пангея*.

К началу палеозойской эры жизнь на Земле «прошла» самую трудную часть своего пути. Уже сформировались два царства – растений и животных. В *кембрийский период* – первый период палеозойской эры – органическая жизнь достигает бурного расцвета. В этот период возникли все известные в настоящее время типы скелетной фауны (кроме хордовых), и водной флоры. Жизнь протекала исключительно в водной среде, так как

только толща воды могла защитить организмы от губительного радиоактивного излучения Солнца. Позднее в роли защитного экрана Земли стал выступать озоновый слой, который возник в раннем палеозое, на рубеже ордовикского и силурийского периода около 440 млн лет назад. Это дало возможность выхода жизни из океана на сушу. Массовое освоение суши растениями и животными произошло в позднем палеозое. В течение *девонского периода* почти повсеместно существовал высокий температурный режим, а климат был близок к современному тропическому. Так, средние температуры на Северном Урале составляли 25–26° С. Близкие температурно-климатические условия имелись на Восточно-Европейской платформе.

В течение раннего и среднего карбона на Земле продолжал господствовать жаркий и влажный климат, который способствовал бурному росту и широкому распространению растительности. *Каменноугольный период* отличается необычайным разнообразием флоры наземных растений. На болотистых берегах морей произрастали огромные леса, из останков которых впоследствии образовались мощные пласты каменного угля.

В противоположность каменноугольному, *пермский* период характеризуется сухим и холодным климатом, вызвавшим обширное оледенение в южном полушарии, а также развитие пустынь, сокращение морей и образование в их лагунах мощных отложений солей в северном полушарии. В частности, ледники покрывали значительную часть Южной Африки и Южной Америки. Здесь сохранились фрагменты моренных отложений и следы перемещений ледников. К концу пермского периода значительно увеличилась зона с засушливым климатом. Наступило резкое прогрессивное похолодание. Изменившиеся климатические условия вызвали смену форм жизни. Исчезает растительность каменноугольного периода. Появляются новые виды растений: цикадовые, гинкговые, хвойные.

19.3. Эволюция Земли в мезозойскую эру

Мезозойскую эру (240–65 млн лет назад) составляют три периода – *триасовый*, *юрский* и *меловой*, общая продолжительность которых около 175 млн лет.

В начале эры еще существовал единый материк – Пангея, но уже в триасе Пангея стала разбиваться на части, из которых образовались современные континенты. Вначале возникли два крупных материка – Лавразия и Гондвана, которые оказались разделенными протяженным экваториальным океаном Тетис. В состав Гондваны входила Южная Америка, Африка, Австралия, Индостан и Антарктида, а Лавразию составляли Северная Америка, Западная и Восточная Европа, Сибирь, Китайско-Корейская платформа и Юго-Восточная Азия.

В течение триасового периода произошел дальнейший распад Гондваны и Лавразии. Вдоль возникших крупных глубинных разломов, предопределивших контуры современных материков, образовались глубокие и протяженные впадины – рифтовые зоны. Океан Тетис занял место современного Индийского океана, Средиземного моря, гор Южной Европы, Карпат, Крыма, Кавказа, гор Ближнего и Среднего Востока и Северной Африки.

Образование океанов и глубоководных впадин в одних районах компенсировалось сжатием литосферы на континентальных окраинах. Сильные сжатия континентальной литосферы привели к образованию крупных горно-складчатых областей в Индонезии, Индокитае, Тибете. Начавшийся с середины мезозоя альпийский тектонический цикл продолжается до сих пор. Горы этого цикла протягиваются в широтном направлении от Атлантического океана до Тихого океана: Кордильеры, Анды, Альпы, Апеннины, Карпаты, горы Малой Азии, Памир, Кавказ, Гималаи.

В *юрском периоде* Австралия и Антарктида отделились от Африки и Индии, а возникшее между ними пространство превратилось в водный бассейн – зародыш Индийского океана. В течение *мелового периода* продолжалось раздвижение гондванских материков. Северная Америка окончательно отделилась от Евразии, а Южная Америка – от Африки. В образовавшуюся между ними впадину хлынули морские воды и возник новый – Атлантический океан. Таким образом, к концу мезозоя оформились все современные океаны, обособились континенты и лик Земли приобрел вид, в основном, близкий к нынешнему.

В течение всей мезозойской эры на Земле господствовал влажный и теплый климат. Даже в полярных областях температурные условия были близки к современным субтропическим. Характерной особенностью животного мира мезозойской эры является огромное разнообразие пресмыкающихся (рептилий), заселивших сушу, моря и воздух: появились ящерицы, крокодилы, черепахи, змеи. Подлинными хозяевами планеты стали динозавры. От пресмыкающихся произошли птицы и млекопитающие (найжены отпечатки животных, совмещающих признаки птиц и пресмыкающихся). Первые млекопитающие появились в триасовый период, первые птицы – в юрский период. К концу мелового периода относится появление древнейших приматов, обитавших на деревьях. В меловом периоде появляются *покрытосеменные* растения. Некоторые формы покрытосеменных мелового периода (тополя, ивы, дубы, эвкалипты, пальмы, магнолии) существуют по настоящее время.

В целом органическая жизнь мезозойской эры была уникальной на всем ее протяжении. Около 240 млн лет назад в конце пермского периода – последнего периода Палеозоя – произошла крупнейшая в истории Земли катастрофа биосферы, приведшая к вымиранию 96 % всех морских видов

и 70 % наземных видов позвоночных. Полностью вымерли хозяева палеозойских морей – трилобиты, просуществовав около 300 млн лет. Исчезло около 2/3 видов насекомых – единственный в истории жизни на Земле случай их массового исчезновения. Восстановление биосферы после пермской катастрофы, ввиду утраты такого количества и разнообразия биологических видов, заняло намного более длительный период времени по сравнению с другими катастрофами, приводившим к массовым вымираниям.

Исключительно быстрое масштабное исчезновение палеозойских организмов и возникновение новых форм растительного и животного мира сформировало рубеж, отделяющий палеозойскую эру от следующей за ней мезозойской эры. Также органический мир претерпел весьма существенные изменения и в конце мезозойской эры: 65 млн лет назад на рубеже мелового и палеогенового периодов произошло «великое мезозойское вымирание». За сравнительно короткий срок с лица Земли исчезли около 20% семейств и более 45% родов различных организмов. Исчезли динозавры. В итоге органический мир лишился почти 75% своих представителей. Как и в пермском периоде, произошло значительное обеднение флоры и фауны. В кайнозойскую эру место исчезнувших мезозойских организмов заняли совершенно другие формы животного и растительного мира. На смену господства голосеменных и споровых пришло царство покрытосеменных (цветковых).

Причины массовых вымираний организмов на рубеже мезозоя и кайнозоя, а также в конце палеозойской эры до сих пор окончательно не выяснены. Дискутируются две альтернативные группы гипотез: *эволюционные* и *катастрофические*. Эволюционные гипотезы основаны на том, что вымирание было связано с эволюцией организмов. Более высокоорганизованные группы быстро приспособлялись к изменяющимся условиям среды, вытесняя и истребляя менее организованные.

Катастрофические гипотезы объясняют эти процессы происходившими на планете геологическими событиями. Сюда относятся землетрясения, масштабные извержения вулканов, наводнения, а также колебания климата, сопровождавшиеся похолоданиями, изменениями состава атмосферы, характера растительности и т.п.

Особую группу причин составляют *космические катастрофы* (например, столкновения Земли с астероидами, кометами, падения метеоритов). Серьезным доводом в пользу «космических гипотез» служит обнаруженное во многих районах Земли аномально высокое содержание иридия и других тяжелых металлов в слоях на границе между меловым и палеогеновым периодами, то есть на уровне около 65 млн лет. Повышенные концентрации иридия могли возникнуть только благодаря заносу его космическими телами, так как на Земле и в ее недрах иридий встречается очень редко. Столкновение Земли с астероидом может вызвать резкое из-

менение температуры воздуха и воды, состава атмосферы, уровня радиации, привести к масштабным взрывам и пожарам, что создает изменения в состоянии биосферы, выходящие за пределы зоны жизни. Более вероятным, чем столкновение с астероидом, является падение на Землю метеоритов (следы метеоритов сглажены на земной поверхности, но отчетливо видны на Луне, Марсе и Меркурии). Сохранившиеся слабые следы метеоритных кратеров на земной поверхности позволяют сделать вывод, что в течение длительной истории Земли с ней неоднократно сталкивались метеориты, размеры которых достигали сотен метров и километров. Падение на Землю метеорита приводит к взрыву, в результате которого в стратосферу попадает часть его массы в форме аэрозольных частиц, что приводит к снижению солнечной радиации. Расчеты показывают, что при падении очень большого метеорита возможно снижение суммарной радиации более чем на 10%. Если такое уменьшение радиации продолжается десятки месяцев, оно может привести к снижению средней температуры у земной поверхности примерно на 5–10° С. Такое изменение климата должно иметь катастрофические последствия для многих живых организмов.

19.4. Современный этап развития Земли – кайнозой

Кайнозойская эра (кайнозой) началась около 65 млн лет назад. На протяжении этой эры сформировались все основные географические особенности нашей планеты, а также современный растительный и животный мир. В отношении развития органической жизни кайнозой характеризуют как эру расцвета покрытосеменных растений, насекомых, птиц, млекопитающих. В то же время, в плане изменения климата планеты, кайнозойская эра – время последовательного понижения средней температуры на поверхности Земли, что предопределило переход от теплой эпохи к эпохе оледенения.

В соответствии с международной геохронологической шкалой *кайнозойская эра* подразделяется на три периода – *палеоген* (продолжительность более 40 млн лет), *неоген* (продолжительность около 23 млн лет) и *четвертичный* или *антропоген*, который продолжается около 2 млн лет. Палеогеновый период делится на три эпохи: *палеоцен*, *эоцен*, *олигоцен*. В течение палеогена тектоническая жизнь планеты оставалась достаточно активной. Продолжались горообразовательные движения в периферических частях Тихого океана в районе Анд, Антарктиды и Аляски.

Несмотря на произошедший в мезозое раскол Гондваны, в палеогене еще некоторое время Австралия и Антарктида оставались едиными, а Южная Америка находилась недалеко от Африки. Северная Америка постепенно удалялась от Евразии, а Южная Америка – от Африки (скорость такого удаления составляла 2–6 см в год). В течение палеогенового периода

Индостан преодолел расстояние в 8 тыс. км и сомкнулся с Азией. После кратковременной регрессии, произошедшей в самом конце мелового периода, в палеогене продолжилась трансгрессия. Морем были затоплены низменные участки суши на юге Восточно-Европейской платформы, на севере Африканской платформы, в Западной Сибири, в Северной и Южной Америке.

В конце палеогена наступило значительное похолодание, что привело к существенному расширению умеренного пояса и появлению в конце палеогена отрицательных зимних температур. В северном полушарии сформировался Северный Ледовитый океан, открылись северо-западный и северо-восточный проходы, Гренландия сместилась на север к своему нынешнему положению. Главным условием похолодания планеты стало расположение Антарктиды в окрестности Южного полюса. Вокруг южнополярного материка завершилось формирование сплошного кругового океанического течения, которое полностью отрезало материк от остального мира, препятствуя проникновению к нему теплых экваториальных течений. Вследствие этого началось быстрое развитие ледников, слившихся, в конце концов, в единый покров. Возникновение Антарктического ледяного покрова привело к общему понижению температуры на Земле, так как изменилось *альbedo* планеты (альbedo – это процентное отношение солнечной радиации, отраженной в мировое пространство, к солнечной радиации, поступившей на верхнюю границу атмосферы).

В палеогене стал меняться не только температурный режим, но также изменилось распределение влажности. Наряду с сильно увлажненными регионами появились области слабо- и сильно засушливого климата. В этих областях образовались ранее неизвестные степные ландшафты, а также полупустынные и пустынные зоны. В первой половине палеогена в условиях теплого и влажного климата на юге широко были распространены теплолюбивые растения тропического и субтропического типа: бамбук, виноград, лавр, пальмы, магнолии. Вся Европа была покрыта лесами, состоящими из дуба, берёзы, сосны, каштана. На севере преобладали хвойные. Во второй половине палеогена в связи с похолоданием и наступлением засушливого климата произошло сокращение площадей лесов и появление обширных степей и саванн. Это привело к распространению злаковых растений (представляющих собой специальную группу покрытосеменных). Злаки стали идеальной пищей для млекопитающих, развитие которых происходит бурными темпами. В конце палеогена начинается разделение древних приматов на низших и человекообразных обезьян. Млекопитающие завоёвывают водную среду – появляются китообразные, ластоногие.

Неогеновый период (неоген) состоит из двух эпох – *миоцена* и *плиоцена*, составляющих в общей сложности около 23 млн лет. Несмотря на

свою сравнительно небольшую продолжительность, неоген является одним из самых важных этапов в геологической истории Земли. В течение неогенового периода из-за необычайно высокой тектонической активности в одних районах происходило поднятие земной коры, а в других – опускание океанического и морского дна. В результате этих движений современные черты приобрели горные системы Альп, Апеннины, Карпаты, Крым, Кавказ, Памир, Гималаи, западные цепи Кордильер, Анды. Возникают новые ландшафтно-климатические условия. В конце неогенового периода близкий к настоящему облик принимает флора. Материки, океаны и рельеф земной поверхности приобретают современный вид.

В неогене встречаются уже все современные семейства млекопитающих, в том числе человекообразные обезьяны. Вторая половина неогенового периода явилась одним из знаменательных рубежей в истории развития органического мира Земли. Линия эволюционного развития древних обезьян стала расходиться, в результате чего появилось несколько ветвей, одна из которых привела к возникновению современных человекообразных обезьян, другая – к появлению человека. Кто был общим предком человека и человекообразных обезьян – науке неизвестно; известно только, что их эволюционные пути оказались различными. В настоящее время считается, что первый человек появился в интервале 2,5–2,6 млн лет назад. На фоне этого грандиозного события остальные изменения, происходившие в составе органического мира, представляются не столь существенными, хотя сами по себе они являются значительными.

В течение *четвертичного периода* ярко проявилась ритмичность изменений климата. Амплитуда годовых колебаний возрастала по мере движения от экватора к полюсам и от океанов в глубь континентов. К началу четвертичного периода средние температуры Земли понизились. Это привело к появлению лесотундрового, а затем и тундрового ландшафта в высоких широтах северного полушария, а позже – к возникновению ледникового покрова. Кроме Антарктического ледникового покрова, возникшего еще в палеогене, образовались ледниковые покровы на арктических островах, в Гренландии, Исландии, Канаде, Скандинавии и на Аляске. В целом в течение четвертичного периода условия жизни на Земле были значительно более суровыми, чем на протяжении мезозоя, палеогена и большей части неогена. Это привело к уменьшению богатства и разнообразия органического мира по сравнению с предшествующими эпохами.

На протяжении всего четвертичного периода ледниковые эпохи периодически сменялись потеплениями (носящими название *межледниковых эпох*), – об этом свидетельствуют чередования отложений. В ледниковые эпохи разность между температурами низких и высоких широт в северном полушарии достигала 70° С, а в межледниковые эпохи она состав-

ляла 30–35° С. Межледниковые эпохи характеризовались сравнительно мягким климатом.

Во время последнего (вюрмского) оледенения подо льдом находилось около 30% суши (заметим для сравнения, что в настоящее время подо льдом остается 10% суши и еще 14% находится в состоянии вечной мерзлоты). Как свидетельствуют результаты изучения изотопов кислорода во льдах Антарктиды, за последние 20 тыс. лет наиболее сильное потепление (климатический оптимум) приходится между XV и XI тысячелетиями. Во время климатического оптимума в северном полушарии произошли существенные изменения природной среды. На южном крае Скандинавского ледника в этот период находилось большое количество озер, на месте которых при отступлении ледника около 10 тыс. лет назад возникло Балтийское море. После соединения с открытым океаном оно стало оказывать большое климатическое воздействие на природу северо-западной части Европы. Высокая теплоотдача и влажность способствовали смягчению климата в этом регионе. После завершения последнего оледенения 10–12 тыс. лет назад Земля вступила в *голоценовую* геологическую эпоху, в течение которой установился современный облик флоры и фауны.

В четвертичном периоде во времена ледниковых эпох в умеренных и, особенно, в высоких широтах сильно менялся состав растительности. Возникли тундровые и лесотундровые ландшафты, которые по мере развития покровного оледенения перемещались в сторону низких широт. Под влиянием похолоданий происходили далекие миграции животных. Произошел интенсивный обмен фауной между Африкой и Евразией, Евразией и Северной Америкой, между Северной и Южной Америкой. Перемычки между континентами возникали в периоды оледенений, когда понижался уровень Мирового океана.

Следует отметить, что происходившие в этот период значительные изменения климата, хотя и оказали большое влияние на живую природу, не привели к массовым вымираниям организмов. Это объясняется тем, что при медленных изменениях климата не происходит разрушения экологических систем. Эти системы сохранялись в определенных географических зонах, которые перемещались по мере изменения климата (в средних широтах северного полушария такое перемещение происходило в основном с севера на юг). При этом, как в структуре географических зон, так и в экологических системах происходили постепенные изменения, вызывающие эволюцию организмов, входящих в эти системы. Однако массового вымирания организмов не возникало. В целом четвертичный период проходит при участии и влиянии человека. Это в определенной степени отразилось на видовом составе и современном распределении органического мира.

Тема 20. Происхождение и эволюция человека

Основные вопросы:

- 20.1. Место человека в системе животного мира.
- 20.2. Современные проблемы антропогенеза.
- 20.3. Основные этапы биологической эволюции человека.
- 20.4. Биологическая сущность человека.
- 20.5. Социальная эволюция человека.

20.1. Место человека в системе животного мира

Первые научные свидетельства сходства человека с человекообразными обезьянами содержатся в описаниях путешественников XVI–XVII вв. Карл Линней в своей «Системе природы» (1758) поместил человека в отряд приматов, куда, кроме человека, вошли обезьяны, лемуры и некоторые другие виды животных. Сходство между человеком и другими человекообразными обезьянами (антропоидами) свидетельствует об их общем происхождении. Ж.-Б. Ламарк в своей основополагающей работе «Философия зоологии» (1809) первым высказал предположение о происхождении человека от обезьяноподобных предков, которые перешли от лазанья по деревьям к хождению по земле на двух ногах. После публикации фундаментального труда Чарльза Дарвина «Происхождение видов» (1859) представления об эволюции органического мира распространились и на человека. В 1871 г. была опубликована работа Ч. Дарвина «Происхождение человека и половой отбор», в которой на основании данных сравнительной анатомии, эмбриологии, палеонтологии он доказывал родство человека с человекообразными обезьянами. При этом Дарвин справедливо полагал, что ни один вид ныне живущих обезьян не может считаться прямым предком человека.

Согласно биологической систематике, современный человек (человек разумный) относится к типу хордовых, подтипу позвоночных, классу млекопитающих, отряду приматов, семейству гоминид, роду *Номо*, виду *Номо sapiens*. Развитие человека, как и других многоклеточных животных, начинается с оплодотворенного яйца (зиготы), которое многократно делится, образуя вначале однослойный, а затем двухслойный зародыш; у него формируются ткани, органы и системы органов. Эти стадии эмбрионального развития являются общими для человека и многоклеточных животных. На последующих стадиях онтогенеза у зародыша человека прослеживаются черты, общие для всех хордовых животных. Так, в качестве внутреннего осевого скелета у них функционирует хорда; центральная нервная система имеет трубчатое строение; в области глотки формируются жаберные дуги. Сходство в развитии зародышей человека и животных го-

ворит о том, что к человеку применим биогенетический закон Мюллера–Геккеля: *каждая особь в своем индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет историю развития своего вида (филогенез)*. При дальнейшем развитии зародыша человека хорда сменяется позвоночником и формируется мозговой череп. Появляются парные конечности. В замкнутой кровеносной системе формируется сердце. Все эти общие черты характерны для представителей подтипа позвоночных – черепных.

Много общих признаков у человека с млекопитающими. Они проявляются на поздних стадиях эмбрионального развития и сохраняются пожизненно. Основные из этих признаков: четырехкамерное сердце, сильно развитая кора переднего мозга, дифференцированная альвеолярная зубная система с возрастной сменой зубов. У человека есть такие же органы и системы органов, как у других млекопитающих: диафрагма, молочные железы, кровеносная, дыхательная, пищеварительная, выделительная системы. Длительное развитие эмбриона в теле матери, а также происходящие через плаценту питание и газообмен свидетельствуют о принадлежности человека к высшим (плацентарным) млекопитающим.

К числу бесспорных доказательств животного происхождения человека относится существование у него *рудиментов* и *атавизмов*. Рудиментарными являются органы, унаследованные человеком от животных предков и утратившие у человека свои функции. У человека имеется свыше 90 рудиментарных органов: аппендикс, копчик, зубы мудрости и др. Необычно сильно развитые рудиментарные органы носят название *атавизмов*. Примерами атавизмов служат сильно развитый волосяной покров на теле, дополнительные соски, хвост. Эти признаки, развитые у предков человека, изредка встречаются у современных людей. Интересно проследить сходства и различия человека и высших приматов – антропоидов. Наибольшее число общих свойств отмечается у человека и африканских приматов – шимпанзе и гориллы. В скелетах этих антропоидов и человека имеется одинаковое число сходных по строению (гомологичных) костей; наблюдается выраженное сходство в строении зубных систем, ушных раковин, мимических мышц и т.п. У них, как и у человека, четыре группы крови, причем при переливании крови соответствующих групп кровяные клетки не разрушаются. У шимпанзе, гориллы и человека есть общие инфекционные болезни (отсутствующие у других млекопитающих): грипп, оспа, холера, брюшной тиф, туберкулез, СПИД. Сходно у них и строение хромосомного аппарата: у человека 46 хромосом, у человекообразных обезьян – 48 (считается, что сокращение числа хромосом у человека произошло при слиянии двух пар негомологичных хромосом). Гены человека и шимпанзе совпадают на 95%. Весьма сходным является поведение человека и человекообразных обезьян. У обезьян, как и у человека, можно наблюдать гнев, радость, удивление; им свойственна забота о потомстве.

Вместе с тем, в строении человека и человекообразных обезьян есть ряд существенных различий. В результате прямохождения человек отличается от обезьяны пропорциями конечностей – ноги у него значительно длиннее рук. Пальцы на руках хорошо развиты и очень подвижны, кисть человека способна совершать разнообразные и сложные движения. У обезьян позвоночник дугообразный, а у человека он имеет S-образную форму с отчетливыми шейными и поясничными изгибами. Важнейшие отличия человека от антропоидов связаны с развитием головного мозга. Объем головного мозга человека составляет 1000–1800 см³, а у антропоидов 600–750 см³. По массе головной мозг человека в 3–4 раза больше мозга шимпанзе и гориллы. Поверхность коры больших полушарий переднего мозга у человека – около 1250 см², а у шимпанзе она в 3,5 раза меньше. У человека наиболее развиты теменные, лобные и височные доли, где находятся важнейшие центры высшей нервной деятельности. Таким образом, принципиальные биологические отличия человека от антропоидов связаны с прямохождением и развитием головного мозга.

Хотя человек принадлежит царству животных, он занимает в нем совершенно особое место. Принципиальное отличие человека от всех прочих животных состоит не столько в его морфологических особенностях, сколько в системе поведения. Основой деятельности животных служат врожденные программы поведения – инстинкты. Инстинкты передаются генетически от поколения к поколению практически в неизменном виде. Каждый из инстинктов определяется перечнем ситуаций, в которых может оказаться действующий субъект, и точным предписанием («алгоритмом»), указывающим на способ действий в этой ситуации. Таким образом, в мозгу животного сформирована специфическая «программа инстинктов», которая определяет его поступки во всевозможных ситуациях. В отличие от животных, люди совершают свои поступки не только под влиянием инстинктов, но также под воздействием побудителей, которые формируются в течение всей их жизни – прижизненных побудителей. Тем самым, в мозгу человека, помимо «программы инстинктов» возникает «программа побудителей», которая отличается от нее тем, что первая «дается» ему при рождении, а вторая создается в процессе его взаимодействия с окружающим миром. Прижизненные побудители материализуются в мозгу индивида в виде некоторой системы моделей того или иного фрагмента действительности. Эти модели представляют собой особым образом организованные структуры, локализованные в определенных разделах головного мозга, и по существу носят знаковый характер. Согласно знаковой концепции, определяющим признаком людей среди всех животных служит их способность создавать знаковые (символьные) модели и оперировать ими. Всякая модель является определенным упрощением действительности. Благодаря этому обстоятельству, в модели удастся установить связи между ее

элементами. Эти связи переносятся обратно на окружающую среду, что и становится основой для совершения действий в реальном мире [9].

Таким образом, поступки, вызванные прижизненными побудителями, являются уже не просто результатом автоматической реакции (как это имеет место для инстинктов), а результатом обдумывания и последующего принятия решения. Для выбора приемлемого (в идеале – оптимального) решения производится сравнение различных вариантов действий по их возможным последствиям, которые оцениваются в некоторой шкале ценностей.

20.2. Современные проблемы антропогенеза

Основная задача антропогенеза – построение родословного древа человека. Эта задача является необыкновенно сложной: требуется не только проследить продолжавшийся много миллионов лет путь превращения обезьяны в человека, но и установить его движущие силы. Для того чтобы восстановить этапы эволюционного процесса, необходимо найти переходные формы между древними обезьянами и современными людьми. Первым шагом к решению этой задачи послужила находка неандертальского человека в 1856 г. Несмотря на то, что в течение 150 лет, прошедших с того времени, работа антропологов в этом направлении не прекращалась, проблема построения родословного древа человека еще далека от своего завершения.

В антропологии вторая половина XX в. ознаменовалась «информационным взрывом», произошедшим в результате резкого увеличения числа находок ископаемых предшественников человека в Африке и Евразии. Начиная с 60-х годов, в антропологии внедряются новые, прежде всего, радиометрические методы датирования костных останков и вмещающих их геологических пород. Стали широко использоваться методы молекулярной биологии, позволяющие установить примерное время расхождения современных видов приматов и человека от общего предка, а также определить степень родства современных и ископаемых форм по особенностям строения их молекул, входящих в состав белков и ДНК. Все эти данные, с учетом открытий второй половины XX в., позволяют наметить общие контуры картины «очеловечивания» обезьяны, однако общепринятой точки зрения на превращение обезьяны в человека антропология пока не имеет.

В зоологической систематике род *человек (Homo)* относится к отряду *приматов* и входит в него в составе семейства *гоминид*. Приматы выделены как отряд млекопитающих еще в конце мелового периода, около 70 млн лет назад. Развитие приматов, гоминид и человека протекало на протяжении кайнозойской эры.

Известны два основных центра возникновения и расселения ранних обезьян в Старом Свете: Юго-Восточная Азия и Северная Африка. Уже в раннем миоцене (25–20 млн лет назад) африканские обезьяны разделились на низших (мартышкообразных) и высших (антропоидов), хотя между ними было значительно больше сходства, чем между современными представителями этих групп. К этому времени материка уже заняли свое современное положение, а на месте огромного доисторического океана Тетис возникла цепь соленых водоемов, в том числе Средиземное, Черное и Каспийское моря. Появилась возможность свободных миграций животных из Африки в Европу и Азию. В период 20–16 млн лет назад африканские обезьяны стали широко распространяться в Южную Европу, Переднюю Азию и далее на восток. Ареалом их обитания служили тропические и субтропические леса, которые в те времена широким поясом охватывали землю.

Примерно 22 млн лет назад в Восточной Африке появляются дриопитеки (по-гречески «древесные обезьяны») – крупные антропоиды ростом свыше метра и весом до 40 кг; именно среди дриопитеков еще со времен Дарвина ищут общие корни человека и африканских человекообразных обезьян. В настоящее время считается, что общими предками человека, шимпанзе и гориллы были отделившиеся от дриопитеков человекообразные обезьяны, входившие в семейство рамапитековых, у которых есть гоминидные черты в строении зубов (останки рамапитековых, имеющие возраст 8–12 млн лет, найдены в Африке и в Индии). В силу неизвестных пока обстоятельств произошло расхождение эволюционной линии этих обезьян на несколько ветвей, одна из которых привела к современным человекообразным, а другая – к человеку. Когда же начался этот процесс? Вплоть до 90-х годов XX столетия полагали, что это происходило 15–20 млн лет назад. Однако последние достижения молекулярной биологии сокращают этот срок почти вдвое.

- Профессор Стэнфордского университета (США) Лука Кавалли-Сфорца составил карты распределения частот нескольких сотен генов в европейских популяциях (он назвал эти карты «генетическими ландшафтами») и по генетическим дистанциям между популяциями вычислил даты их разделения. Метод «Молекулярные часы» помог определить время разделения ветвей человека и обезьян – от 5 до 7 млн лет назад (теперь «молекулярная» датировка является общепринятой). По этим данным получается, что предки человека и шимпанзе разделились около 5 млн лет назад, отделение горилл произошло раньше, а еще раньше, около 10–15 млн лет назад, произошло отделение ветви orangutanгов.

Развитие ветви, приведшей впоследствии к человеку, происходило в области Восточно-Африканской рифтовой системы. Этот район характеризуется активными процессами в земной коре: землетрясениями, извержениями вулканов, а также повышенным уровнем радиации; согласно молекулярной генетике, эти факторы могли значительно ускорить мутацион-

ный процесс. Прямыми предками человека были прямоходящие гоминиды, а кто был предком гоминид? Вопрос о том, когда и как произошел переход от человекообразной обезьяны к прямоходящему гоминиду остается одним из важнейших нерешенных вопросов антропологии. Благодаря афарскому австралопитеку, найденному в 1974 г. в Эфиопии американским палеоантропологом Д. Джохансоном, стало ясно, что это произошло не менее 4 млн лет назад [10].

Что же заставило обезьяну встать на задние конечности и превратиться в прямоходящее существо? В работе Ф. Энгельса «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека» (1876) решающая роль в процессе очеловечивания обезьяны отводится труду. Для того чтобы пользоваться орудиями труда, обезьяна должна была освободить передние конечности. Параллельно с этим шел процесс увеличения ее мозга. И в дальнейшем, вплоть до 60-х годов XX в., большинство антропологов было согласны с тем, что хождение на двух ногах, крупный мозг и использование орудий труда развивались параллельно. Однако палеонтологические находки, сделанные в 70-е годы XX в, недвусмысленно доказали, что у *человекообразных обезьян прямохождение возникло, по крайней мере, на миллион лет раньше, чем у них появился большой головной мозг и каменные орудия труда.*

Существует множество гипотез, объясняющих переход обезьян к прямохождению до использования орудий труда. Часть из них следует сразу же отбросить как ненаучные (например, такие, как «необходимость смотреть поверх высокой травы после переселения обезьян из тропических лесов в саванну»).

- Рассмотрим более подробно одну из научных гипотез возникновения адаптаций у приматов, предложенную американским антропологом Оуэном Лавджоем [10]. Основная идея Лавджоя состоит в том, что прямохождение и другие адаптации антропоидов связываются с общей стратегией, направленной на выживание вида. У самых ранних предков приматов в связи с охотой на деревьях стали развиваться более длинные и более цепкие пальцы. Вместо когтей на верхней стороне пальцев появились плоские ногти, и стала формироваться характерная для приматов рука. Развитие руки сопровождалось другими адаптациями. Для того чтобы успешно прыгать и хватать добычу, нужно хорошо оценивать расстояния. В связи с этим у приматов развивается бинокулярное зрение. Их череп приобретает округлую форму, что соответствует новому положению глаз. Возрастает емкость черепа и создается потенциальная возможность для развития более крупного мозга. С формированием кисти руки зубы перестают быть главным органом охоты и сбора пищи; их становится меньше, а челюсти укорачиваются.

Переход гоминид к прямохождению связывается Лавджоем со стратегией размножения. Существуют два типа стратегий размножения, называемые «г-стратегия» и «К-стратегия». Первая из них, «г-стратегия» сводится к тому, что особь распространяет в окружающей среде огромное количество зародышей – семян, икринок, яиц, – совершенно не заботясь о них (например, устрица про-

изводит до 500 млн яиц в год, бросая их на произвол судьбы). Напротив, «К-стратегия» состоит в том, что рождается очень небольшое число потомков, каждый из которых окружается родительской заботой о нем. «К-стратегия» является гораздо более эффективной, чем «г-стратегия». У позвоночных она постоянно усиливалась, сопровождаясь прогрессирующей специализацией. Так, лягушки более развиты по сравнению с устрицами, аллигаторы – по сравнению с лягушками, кролики – по сравнению с аллигаторами, мартышки – по сравнению с кроликами, антропоиды – по сравнению с мартышками. С самого начала кайнозойской эры и до середины неогенового периода среди приматов наблюдается тенденция ко все большему использованию «К-стратегии». Самки человекообразных обезьян в результате прогрессивной эволюции стали рожать меньше детенышей, проявляя при этом большую заботу о потомстве. Усиленная забота о потомстве требует развития других способностей, в том числе умственных. Отбор усиливает этот признак, так как самки с более развитыми материнскими качествами имеют больший успех в сохранении детенышей. Здесь вступает в действие принцип положительной обратной связи (один признак усиливает другой). Однако в случае эволюции приматов имеется не простая связь между двумя факторами, а многофакторная связь.

Например, детенышу, обладающему большим мозгом, требуется больше времени для обучения. Поэтому у него должно быть более продолжительное детство. А в детстве лучший способ обучения – игра, предполагающая наличие партнеров и, как следствие, социальной организации. Таким образом, такие факторы, как большее использование «К-стратегии», усиление заботы о потомстве, развитие умственных способностей, увеличение продолжительности детства, игра и социальное поведение – образуют многофакторную круговую систему с перекрестными соединениями и взаимными обратными связями. Поэтому переход приматов к преимущественному использованию «К-стратегии» имел своими последствиями также усиление их умственных способностей и способствовал возникновению элементов коллективного поведения.

Однако «К-стратегия» имеет свои границы. Доведенная до крайностей, она сопровождается тяжелым уроном при несчастных случаях, нападениях хищников, сезонной нехватке пищи, болезнях. *Переход к прямохождению избавил гоминид от опасностей преимущественного использования «К-стратегии»* – вот центральная идея предлагаемой гипотезы, объясняющей переход некоторых приматов к прямохождению.

Действительно, антропоиды, как правило, производят на свет одного детеныша. Пока самка носит его, кормит и присматривает за ним, – она не может иметь другого. Например, самка шимпанзе полностью занята выращиванием детеныша, пока ему не исполнится около пяти лет. В такой ситуации единственный способ уменьшения негативных последствий «К-стратегии» – увеличение частоты рождений и возможностей одновременного ухода за несколькими детенышами. Для этого самка должна быть защищена от врагов и не должна отвлекаться поисками пищи. Все это возможно только в сообществе и не в одиночку, а с помощью самца. Возникает определенная кооперация между членами группы. В таких условиях самке нужны не столько «быстрые ноги», сколько «умелые руки» (для деления пищи, для поддержки детенышей, для сохранения своей сексуальной привлекательности и т.п.). Таким образом, гоминиды освоили двуногий способ передвижения, когда еще жили в лесах и до применения орудий труда.

Как считает известный климатолог М. И. Будыко [11], на эволюцию антропоидов существенное влияние оказали изменения климата, происшедшие на протяжении последних 10 млн лет. Эти изменения явились следствием общего похолодания, которое было наиболее значительным в высоких широтах, что приводило к увеличению разности температур между экватором и полюсами. В результате менялась система атмосферной циркуляции, пояс высокого давления расширялся и охватывал более низкие широты. Так как в пределах этого пояса выпадает мало атмосферных осадков, то в зоне обширных тропических лесов уменьшалась влажность, что повлекло за собой смену тропических лесов саваннами или пустынями. Оказавшиеся в открытой местности, предки человека были почти беззащитными при столкновении с многочисленными хищниками африканских саванн. Кроме того, с исчезновением тропических лесов произошло резкое сокращение количества пригодной растительной пищи. В этих исключительно неблагоприятных условиях большая часть антропоидов должна была погибнуть. Можно предположить, что факторами, способствующими выживанию отдельных групп антропоидов, явились уровень социальной организации, проявляющийся при охоте и обороне от хищников, наличие у них сравнительно развитого головного мозга и способность к прямохождению, полностью освободившая их руки. В частности, эти особенности позволили антропоидам использовать для защиты от хищников палки, кости убитых животных и необработанные камни (каменные орудия труда появились значительно позднее). Таким образом, возникшие в тот период условия исключительно жесткого естественного отбора привели к высоким темпам эволюции антропоидов, особенно эволюции их высшей нервной деятельности.

20.3. Основные этапы биологической эволюции человека

До 50-х гг. XX в. становление и эволюция рода *Homo* прослеживались вглубь на 1–1,5 млн лет – по палеонтологическим находкам в Юго-Восточной Азии и на острове Ява. Выдающиеся достижения палеоантропологии второй половины XX века, связанные с находками в Южной и Восточной Африке, позволили отодвинуть эту границу до 4–5 млн лет. Современная антропология помещает прародину человечества в Восточную Африку.

В Южной и Восточной Африке были обнаружены останки человекообразных обезьян – австралопитеков (от лат. *australis* – южный, *pithecum* – обезьяна), которые по отдельным признакам стоят ближе к человеку, чем человекообразные обезьяны. Это были уже прямоходящие двуногие существа, которые обитали на открытых, поросших травой пространствах и употребляли преимущественно растительную пищу. Длительное время ав-

стралопитека рассматривали как связующее звено между рамапитеком и человеком. Однако после сенсационной находки в 1959 году научной экспедицией под руководством английского палеоантрополога Луиса Лики черепа *хабилиса* – человека умелого (*Homo habilis*) и его орудий труда – каменных рубил – большинство ученых именно его считают истинным связующим звеном, рассматривая австралопитека лишь как боковую и тупиковую ветвь на пути к человеку. По-видимому, в промежутке от 8 до 4 млн лет назад у рамапитека появились два потомка – австралопитеки и хабилисы, облик которых гораздо больше приближался к человеческому. Оба вида прекратили свое существование около полутора миллионов лет назад. Но если у австралопитеков объем черепной коробки – до 500 см³ – был еще ненамного больше, чем у человекообразных обезьян, то у хабилисов череп по своей форме поразительно похож на человеческий и имел объем до 800 см³. По сравнению с австралопитеком человек умелый перешел на питание более мягкой и разнообразной растительной и животной пищей. Существенно то, что, обладая более развитым мозгом и гораздо более ловкими руками, человек умелый, в отличие от австралопитека, при разделке пищи пользовался изготовленными самостоятельно примитивными каменными приспособлениями (именно поэтому он был назван «умелым»). Последние 100 – 200 тыс. лет своей истории человек умелый сосуществовал с другим нашим предком – *эректусом* (*Homo erectus*).

- С латинским названием этого вида – *Homo erectus* (человек прямоходящий) – произошел казус. Дело в том, что останки человека прямоходящего были обнаружены в 1891 г. (экспедицией, которую возглавлял голландский антрополог Эжен Дюбуа), раньше, чем останки афарского австралопитека и человека умелого. Тогда решили, что он и является «недостающим звеном» между обезьяной и человеком, а также первым антропоидом, ходящим на двух ногах, т.е. прямоходящим, что и отражено в его названии. После находок в Восточной Африке возраст прямоходящих обезьян – гоминид – пришлось увеличить более чем вдвое. Однако по правилам зоологической номенклатуры ранее данное название вида не должно меняться.

Эректусы (их обиходное название – *архантропы* или *древнейшие люди*) существовали в интервале 1,8–0,3 млн лет назад. Они отличались от австралопитеков не только анатомическими особенностями, но и образом жизни. Древнейшие люди умели изготавливать каменные орудия (наиболее характерное орудие той эпохи – каменное рубило, которое использовалось для охоты, а также для разделывания шкур и выкапывания клубней). Жили они группами по 20–50 человек в пещерах или в искусственных жилищах, которые сооружали из ветвей деревьев. В одной из пещер, где обитали древнейшие люди, был обнаружен толстый слой золы. Это говорит о том, что архантропы умели поддерживать огонь. Установлено, что они были преимущественно правшами. Это объясняется асимметрией мозга: у правой больше развито левое полушарие (особенность, которая из всех

млекопитающих свойственна только человеку). Больше развитие левого полушария связано с развитием двигательных и речевых центров.

Рост человека прямоходящего составлял около 1,5 м, руки стали относительно короче, а объем мозга достигал 900 – 1000 см³. Из своей родины – Восточной Африки – эректусы расселились по Югу Евразии, образовав в разных районах несколько подвидов (*питекантрон*, *синантрон*, *гейдельбергский человек* и др.). Их останки найдены на территории Китая, Таиланда, на острове Ява и в Средней Европе. В Европу представители человека прямоходящего проникли около 1 млн лет назад (а возможно и раньше, если судить по возрасту одной из последних археологических находок *Homo erectus* «у ворот Европы» – в Южной Грузии).

- До недавнего времени считалось, что эректусы вымерли около 300 тысяч лет назад, уступив место неандертальцам. Однако последние антропологические находки свидетельствуют, что на окраинах ареала они могли дожить до прихода современных людей. Последние питекантропы в Индонезии вымерли 27 тыс. лет назад, а их карликовая форма *Homo floresiensis* – 18 тыс. лет назад. Возможно также, что до появления современного человека дожили эректусы и в джунглях Южной Африки (*Родезийский человек*).

Произошел ли *Homo erectus* от *Homo habilis*? Это науке неизвестно. А если это так, то чем объяснить внезапный скачок от *Homo habilis* к *Homo erectus*? Может быть, он был связан с развитием новой культуры орудий труда? А потом – новый скачок: переход от человека прямоходящего к человеку разумному. Переходный период между *Homo erectus* и *Homo sapiens* является наиболее сложным и загадочным этапом эволюции человека. Гоминид этого периода многие антропологи считают уже архаическими сапиенсами, которые предшествовали человеку современного вида.

В современной антропологии появление человека разумного датируется интервалом 200–150 тыс. лет назад. Более точное указание сроков появления *Homo sapiens* зависит от того, как оценивать неандертальского человека, относящегося к роду *Homo*. До недавнего времени мнения антропологов по этому вопросу расходились: одни полагали, что он принадлежит к тому же виду, что и мы; другие считали, что он был лишь нашим предком; третьи видели в нем нашего «двоюродного брата».

Первые неандертальцы появились в Европе более 300 тыс. лет назад (название определяется местом нахождения останков в долине Неандерталь близ Дюссельдорфа в Германии). К настоящему времени обнаружено свыше 100 находок неандертальцев. Неандертальцы отличались от своих предшественников более крупными размерами головного мозга (объем до 1400 см³), более развитыми мышлением и речью. Неандертальцы жили довольно большими группами по 50–100 человек. Они изготавливали разнообразные орудия труда: скребла, топоры, наконечники. Уже 230 тыс. лет назад неандертальцы освоили коллективную охоту на крупных зверей. У

них было разделение труда: мужчины охотились, а женщины занимались собирательством и воспитанием детей. Они научились не только поддерживать, но и добывать огонь. Около 60 тыс. лет назад неандертальцы стали хоронить умерших.

Большинство современных антропологов все же не считают неандертальцев предками современных людей, а относят их к отдельному виду в составе рода *Homo*. Основанием для этого служат анализы ДНК останков неандертальского человека, проведенные учёными Мюнхенского университета. Различия в генах оказались слишком велики, чтобы можно было считать неандертальцев предками кроманьонцев – непосредственных предков современных людей. Эти выводы были подтверждены ведущими специалистами из Европы и Америки.

Кроманьонцы являются типичными представителями вида *Homo sapiens* (название дано по месту нахождения останков в пещере Кро-Маньон на юге Франции). Внешне кроманьонцы были вполне схожими с современными людьми. Они отличались высоким ростом (до 180 см). Объем черепа кроманьонца доходил до 1600 см³, а мозг имел хорошо развитые лобные доли.

Кроманьонцы обладали членораздельной речью (о чем свидетельствуют хорошо развитый подбородочный выступ и увеличенная площадь больших полушарий, где расположены двигательные и речевые центры). Кроманьонцы научились приручать диких животных и начали выращивать растения, что уменьшило их зависимость от природной среды и освободило время для других занятий. У кроманьонцев появляются зачатки искусства, о чем свидетельствуют росписи на стенах пещер, изображающие животных или сцены охоты. В этих пещерах найдены также костяные статуэтки, украшения, музыкальные инструменты. Сюжеты наскальных рисунков позволяют говорить о наличии у кроманьонцев элементов религии.

Кроманьонцы пришли в Европу около 40 тыс. лет назад, а через 5 тыс. лет неандертальцы полностью вымерли. Эти 5 тыс. лет сосуществования двух видов были периодом острой конкуренции за еду и другие ресурсы, победу в которой благодаря многократному численному превосходству и более высокому уровню культуры одержали кроманьонцы. Имеется ряд доказательств того, что у неандертальцев и кроманьонцев существовали смешанные браки, потомство которых имело гибридные черты. При сравнении генома современного человека и неандертальца оказалось, что от 1 до 4% генов современных людей имеют неандертальское происхождение. В то же время в геноме населения Африки южнее Сахары таких генов не обнаружено.

Около 40–35 тыс. лет назад, на рубеже верхнего палеолита, *Homo sapiens* становится единственным представителем рода *Homo* и заселяет практически всю Землю.

- Есть точка зрения, что около 200 тыс. лет назад численность гоминид резко сократилась, и современные люди первоначально появились в одном центре, скорее всего в Африке южнее Сахары. Эту теорию моноцентризма называют иногда «гипотезой африканской Евы», так как основным аргументом ее сторонников служат данные о распространении в различных группах современного населения идентичных генов митохондриальной ДНК, передающихся только по женской линии. Противоположная точка зрения – теория полицентризма – базируется на независимом развитии сапиенса в нескольких (от 2 до 5) центрах с культурной и генетической преемственностью между ранним и более поздним населением. Наиболее вероятно, что на этих этапах эволюция человека происходила при смешениях между разными группами развивающихся гоминид.
- Один из методов изучения эволюции предков человека состоит в исследовании их орудий труда. Самые древние орудия труда, изготовленные человеком умелым, имеют возраст 2,6 млн лет. Они найдены в каньоне Олдувай (между горой Килиманджаро и озером Виктория на территории современной Танзании); способ изготовления этих орудий получил в дальнейшем название *олдувайская культура* или *олдувайская технология*. Примерно 1,7–1,6 млн лет назад олдувайская культура исчезает, и ей на смену приходит *ашельская*, которую связывают с эректусами (название дано по месту нахождения образцов около пригорода Аньена Сент-Ашель на севере Франции). С неандертальцами связывают *мустьерскую культуру*, пришедшую на смену ашельской примерно 100 тыс. лет назад.

20.4. Биологическая сущность человека

Здесь мы подходим к главному вопросу: в чем состоит специфика человека? Даже сегодня в антропологии нет общепринятого определения, то есть четкого набора критериев, которые позволили бы однозначно отличить человека от обезьяны по морфологическим признакам. Долгое время основным критерием для идентификации человеческого существа считался объем мозга. Нижний порог объема мозга человека определялся в 750 см^3 , потом он был снижен до 700 см^3 . Австралопитеки имели мозг объемом в $430 - 550 \text{ см}^3$ – больше, чем у человекообразных обезьян, но существенно меньше, чем у *Homo erectus*.

Таким образом, австралопитеки были переходной формой от обезьяны к человеку. У современного человека объем мозга варьируется в пределах от 1000 до 1800 см^3 , перекрываясь в своих нижних значениях с верхней областью диапазона значений для вида *Homo erectus* ($700-1250 \text{ см}^3$). Аналогично, нижние значения объема мозга *Homo erectus* перекрываются диапазоном размеров мозга *Homo habilis* ($500-800 \text{ см}^3$). Поэтому, например, если поставить рядом наиболее «головастого» *Homo erectus* и наименее «головастого» *Homo sapiens*, то их видовые названия пришлось бы поменять местами. Хотя тело человека имеет особые видовые признаки, отличающие его от человекообразных обезьян (форма черепа и позвоночника, строение руки и некоторые другие), анатомически и физиологически он весьма сходен с ними. *При всех видовых особенностях в организме челове-*

ка нет ничего, что с необходимостью порождало бы у него разумность и способность к творческой деятельности. Появление этих качеств нельзя объяснить законами биологической эволюции. Поэтому биологическая сущность человека не может быть выявлена только на анатомической основе.

Весьма естественным кажется предположение, что процесс формирования определяющего признака человека – замена неограниченного господства инстинктов на прижизненные побудители – был плавным и постепенным, в результате чего обезьяна становилась все более разумной, пока не превратилась в «настоящего человека». Однако данное предположение вряд ли соответствует действительности. Дело в том, что рациональные элементы формируются в течение жизни индивида, которая крайне непродолжительна по сравнению с тем временем, в течение которого могут произойти изменения на генетическом уровне. Если бы какому-то индивиду удалось найти решение стоящих перед ним задач благодаря своим умственным дарованиям, то это было бы немедленно подавлено господствующей системой инстинктов (см. [9]). Таким образом, «индивидуальный рационализм» представляется совершенно несостоятельным в деле замены природных инстинктов прижизненными побудителями. Объяснение феномена перехода к новой системе жизни возможно лишь на базе предположения о внедрении и развитии «коллективного рационализма».

Разрешение указных выше противоречий возможно в рамках синергетики. С синергетической точки зрения возникновение человека представляет собой скачкообразный процесс перехода от менее организованной системы – обезьяньего стада – к более организованной – человеческому обществу. При таком переходе имеет место системный эффект, состоящий в том, что не изменение свойств частей приводит к изменению целого, а наоборот, изменившееся целое ведет к изменению свойств его частей.

Превращение обезьяны в человека было связано не столько с морфологическими изменениями, сколько с изменениями в «стратегии жизни». Предок человека перестает быть животным и становится человеком тогда, когда он начинает действовать, главным образом, под влиянием прижизненных побудителей.

Первое, что отделяет человека от животного, – это усвоение понятия «нельзя». Запреты определенных действий («табу») связаны с тем, что они наносят вред той группе, в которой живет индивид. Члены группы воспринимают такие запреты как категоричные и не требующие обоснования. Если же какой-либо член группы нарушает запрет, то остальные члены группы при помощи системы коммуникаций выражают ему свое осуждение. Возникновение первых «табу» означает появление у членов коллектива, кроме биологических потребностей, новых – социальных, появление первых зачатков чувства долга и совести. Тем самым в группе формируют-

ся традиции, исходной базой для которых является опыт жизни многочисленных членов вида. На заре истории человечества существовало множество замкнутых изолированных эндогенных групп, внутри которых имело место сотрудничество и кооперация, а между группами шла борьба за существование, в ходе которой одни группы выживали, а другие погибали. Таким образом, единицей отбора были не отдельные индивиды, а группы индивидов, точнее, отдельные модели поведения. *Именно модель поведения явилась тем основополагающим стержнем, который определил превращение обезьяны в человека.*

20.5. Социальная эволюция человека

Становление человеческого общества с необходимостью предполагает подавление животных инстинктов и введение их в социальные рамки. Принадлежность к группе возможна лишь при выполнении господствующих в ней правил поведения, то есть соблюдении традиций, управляющих всей ее жизнью. Превращение древнего человека в человека разумного происходит только тогда, когда его поведение начинает определяться, главным образом, традициями, правилами, привычками и верованиями, присущими данной группе.

Для формирования традиций и их передачи от одних членов коллектива к другим необходимо возникновение принципиально новой коммуникативной системы, отличной от той, которая используется в животном мире. Эта коммуникативная система должна быть достаточно мощной, с богатыми выразительными возможностями. Ее элементы должны однозначно восприниматься в пределах определенного коллектива. Помимо этого, она должна обладать возможностями выражения некоторых абстрактных понятий, а также допускать логические связи между отдельными элементами. Она должна быть способной к передаче сообщений, относящихся не только к текущему состоянию, но и к будущему. Всеми этими свойствами обладает коммуникативная система – звуковой язык.

Использование звуковых сигналов для взаимодействия между членами группы имеет место у большинства видов животных. Например, волки используют звуковые сигналы при групповой охоте. Шимпанзе пользуются большим разнообразием криков и призывов, при помощи которых они передают друг другу различную информацию (сигналы об опасности, извещения о нахождении пищи, о своем приближении, призывы о помощи, а также сигналы своего эмоционального состояния – страха, боли, удовольствия т.п.). Но как бы ни была богата система звуковых сигналов животных – она не образует того, что мы понимаем под речью, так как основана не на происходящих в мозгу мыслительных процессах, а на инстинктах и эмоциях. При этом главное формальное отличие человеческой речи

от звуковых сигналов животных заключается в ее фонетической организации и грамматической структуре.

Человек представляет собой единственный биологический вид, который высоко развил способность к символическому мышлению. Богатство человеческой речи резко отделяет человека даже от наиболее развитых животных. Только у человека язык обладает способностью схематизировать и обобщать впечатления, полученные из внешнего мира. Только в человеческом языке существует система абстрактных понятий.

Формирование и развитие языка определенным образом связано с процессом мышления. Мышление не только выражается в языке – оно в определенной степени формируется языком. Кроме того, язык является абсолютно необходимым для развития духовной сферы жизни человека. Потребность в понимании и объяснении происходящего в мире может быть удовлетворена лишь в результате общения с использованием достаточно развитой системы речи. Язык явился основным средством для передачи традиций в первобытном человеческом обществе. Среди важнейших традиций – коллективная охота и совместная трудовая деятельность.

Итак, *благодаря, в первую очередь, развитию речи, начинается длительный процесс превращения древнего человека в человека современного вида.* Как подчеркивает английский историк науки Джон Бернал «язык выделил человека из всего животного мира». С помощью речи («второй сигнальной системе» по терминологии И. П. Павлова) человек становится обладателем всех достижений человеческой культуры: возникает феномен не генетического, а социального наследования, передачи опыта, накопленного предыдущими поколениями. Значение этого опыта настолько велико, что известный философ XX в. Карл Поппер назвал его «третьим миром», поместив в один ряд с окружающей нас природой («первый мир») и внутренним, психическим миром («второй мир»).

В настоящее время большинство антропологов считает, что около 40 тыс. лет назад биологическая эволюция вида *Homo sapiens* завершилась. Одним из доводов в пользу этой точки зрения является то, что за последние 40 тысяч лет размеры головного мозга человека остаются неизменными. Практически не изменился за этот период и внешний облик человека. С этого времени заканчивается действие группового отбора и завершается процесс антропогенеза.

Определяющим фактором в дальнейшем развитии вида *Homo sapiens* становится социальная эволюция. Возникновение цивилизации – тот рубеж, после которого господствующая роль социальных факторов над биологическими утвердилась окончательно. Цивилизация создает средства и определяет способы развития культуры общества.

В настоящее время в литературе используется термин «антропо-социо-культурогенез» [12] для обозначения этапа эволюции человека, на-

ступившего после его биологической эволюции. Переход от биологического «докультурного» существования человека к «культурной» жизни человеческого общества растянулся на миллионы лет. Такое длительное время потребовалось для надстраивания над генетическим механизмом передачи информации от поколения к поколению нового – внегенетического информационного канала – искусственно созданных знаковых систем культуры. В результате происходит постепенное «окультуривание» тела человека (приспособление руки, мимики, гортани для большей свободы действий; развитие его мозга, формирование функциональной асимметрии полушарий, позволяющей осуществлять двухуровневую – наглядно-образную и абстрактно логическую – обработку информации).

Следует подчеркнуть, что основным анатомическим проявлением социальной эволюции человека явилось качественное преобразование его мозга. При этом необходимо иметь в виду, что мозг человека не растет с ростом организма «сам по себе»: его развитие представляет собой результат длительного процесса познания окружающего мира, которое осуществляется в рамках социальной структуры. Так, строение ансамблей нервных клеток, а также их связи в мозгу программируются генетическим аппаратом и передаются по наследству. Развитость речевых и двигательных структурных единиц мозга человека также наследуется ребенком от родителей. Но наследуется не речь и не двигательные навыки как таковые, а лишь потенциальные возможности их последующего приобретения.

Генетические возможности реализуются только при условии, что с раннего детства ребенок обучается и воспитывается в сообществе людей, то есть в социальной среде.

Именно от социальных условий зависит сегодня физический облик, здоровье, продолжительность жизни и умственное развитие современного человека.

- Одним из наглядных подтверждений этому может служить динамика средней продолжительности жизни человека. В древности она составляла 20–22 года; в XVIII в. – около 30 лет; к началу XX века в странах Западной Европы она достигла 56 лет, а в настоящее время в этих странах она составляет 75–78 лет. По данным современной науки потенциал средней продолжительности жизни человека составляет не менее 90 лет.
- Прекращение процесса прогрессирующей биологической эволюции человека в будущем может привести к ухудшению его генофонда. Действительно, с исчезновением естественного отбора резко возрастает действие мутагенных факторов. В силу генетического разнообразия приблизительно два ребенка из тысячи рождаются с заметными отклонениями от нормы. Раньше такие дети чаще всего погибали и, во всяком случае, не могли оставить потомства. В настоящее время, благодаря успехам медицины, многие из них выживают и дают неполноценное потомство, что приводит к увеличению процента людей с генетическими отклонениями. Помимо этого, в результате действия негативных социальных факторов (таких, как алкоголизм, нар-

комания, загрязнение окружающей среды и т.п.) растет число неполноценных детей, а также увеличивается число людей, страдающих наследственными заболеваниями. Сопровождающие современную жизнь человечества такие социальные явления, как миграции населения, войны, геноциды изымают из генофонда наиболее активную и талантливую часть человечества, что ведет к снижению его интеллектуального потенциала.

Для каждого вида существует некоторый порог допустимого размывания генофонда, после превышения которого никакой естественный отбор уже не может восстановить его качество и предотвратить деградацию. Человек не составляет исключения. Если негативные тенденции современной жизни не будут ограничены, то уже через несколько поколений человечество может подойти к опасному рубежу. Наука настоящего времени определяет человека как биосоциальное существо, в котором биологическая и социальная компоненты слиты в единую целостную структуру. Будущая судьба человека как вида зависит от способностей человеческой цивилизации противостоять саморазрушительным тенденциям современной жизни.

Тема 21. Экология – наука о взаимодействиях экосистем

Основные вопросы:

21.1. Экосистемы.

21.2. Основные характеристики экосистем.

21.3. Устойчивость экосистем.

21.4. Загрязнения окружающей среды. Антропогенные воздействия на экосистемы.

21.1. Экосистемы

Природа в целом, а также отдельные ее части представляют единство живого и неживого. В 1866 г. немецкий естествоиспытатель Эрнст Геккель предложил термин «экология» для названия раздела биологии, связанного с изучением взаимодействий животных с органической и неорганической средой. В настоящее время экология рассматривается как наука, которая изучает закономерности жизнедеятельности организмов в их естественной среде обитания с учетом их взаимоотношений с окружающей средой, включая деятельность человека.

Основным понятием экологии является *экологическая система* (*экосистема*). Этот термин был предложен в 1935 г. видным английским экологом-ботаником Артуром Тенсли для обозначения естественного ком-

плекса живых организмов и физической среды, в которой они обитают. (Следует заметить, что фактически экосистемные исследования начались значительно раньше, чем возникло понятие «экосистема»; лидерами здесь были гидробиологи.) Наиболее общее определение экосистемы – это природная система, составной частью которой является живая материя. Поскольку любая природная система связана со своим окружением бесчисленным числом связей, то, выделяя ту или иную экосистему, мы фактически строим определенную модель взаимодействия живых организмов с окружающей средой.

Типичным примером экосистемы является биогеоценоз – совокупность живых организмов, обитающих на определенной территории и рассматриваемая вместе со средой своего обитания. Однако понятие экосистемы является более общим, чем понятие биогеоценоза. Так, к числу экосистем можно отнести любое естественное или искусственное образование (например, город, поле, лесополосу), а также всю биосферу в целом.

Для возникновения и поддержания определенного уровня упорядоченности экосистеме необходим постоянный приток энергии извне. Благодаря этой энергии происходит постоянный обмен веществом между экосистемой и окружающей средой. Таким образом, экосистемы – это открытые системы. Основным источником энергии экосистем является солнечная энергия.

Согласно В. Р. Вильямсу, энергия Солнца вызывает на Земле два круговорота: геологический и биологический. Геологический круговорот происходит за счет круговорота воды – на него приходится около 70% поступающей от Солнца энергии; в то же время на биологический круговорот уходит всего 0,8% энергии Солнца.

Экосистемы являются нелинейными системами. Это проявляется в том, что до некоторого критического уровня экосистема может не реагировать на внешние воздействия, оставаясь в состоянии равновесия. В то же время, при превышении критического уровня она выводится из состояния равновесия даже малыми воздействиями на нее.

Экосистемные исследования основываются на том, что при колоссальном разнообразии форм организмов, существующих в природе, число основных биохимических процессов, определяющих их жизнедеятельность, а, следовательно, и число основных биогеохимических функций, весьма ограничено. Так, например, самые разные растения (а также цианобактерии) осуществляют фотосинтез, при котором образуется органическое вещество и выделяется свободный кислород. А поскольку конечные продукты здесь одинаковы, то можно суммировать результаты активности сразу большого числа организмов, например, всех планктонных водорослей в пруду или всех растений в лесу.

- Превращение экологии в самостоятельную науку произошло в 1920–1940-е годы. В этот период публикуется ряд книг по разным аспектам экологии, начинают выходить специализированные журналы, возникают экологические общества. Постепенно формируется теоретическая основа экологии и вырабатывается своя методология, позволяющая ставить и решать определенные задачи. Тогда же оформляются два достаточно разных подхода, существующие и в современной экологии: популяционный, сосредотачивающий основное внимание на динамике численности популяций и их распределению в пространстве, и экосистемный, концентрирующийся на процессах круговорота вещества и трансформации энергии. Применение математических методов исследования экосистем, начавшееся с работ выдающегося математика В. Вольфелла в 30-е годы минувшего века, привело к возникновению нового научного направления в экологии – математической экологии. В настоящее время в мире издается несколько десятков журналов, в которых публикуются, в основном, работы по математическим моделям в экологии (не считая большого количества подобных работ в узкоспециализированных журналах).

В современной экологии сохраняют свою актуальность некоторые проблемы, имеющие уже давнюю историю исследований, например, установление общих закономерностей динамики сообществ организмов; оценка роли разных факторов, ограничивающих рост популяций; выяснение причин циклических (регулярных) колебаний численности. Особое внимание исследователи стали уделять эволюции жизненных циклов и разным стратегиям выживания. Поскольку за каждое эволюционное приобретение организмам приходится чем-то расплачиваться, между отдельными признаками неизбежно возникают четко выраженные отрицательные корреляции (так называемые «трейдоффы»). Изучение подобных корреляций позволяет выяснить, как достигается сама возможность существования организмов в тех или иных условиях. Продолжаются также исследования взаимоотношений типа «хищник-жертва», конкуренции, а также взаимовыгодного сотрудничества разных видов – мутуализма.

Сложная структура экологии определяется тем, что изучаемые в ней объекты относятся к очень разным уровням организации: от биосферы и крупных экосистем до популяций, причем популяция иногда рассматривается как совокупность отдельных особей. Масштабы пространства и времени, в которых происходят изменения этих объектов и которые охватываются исследованиями, также варьируются чрезвычайно широко: от тысяч километров до сантиметров, от тысячелетий до суток.

Большие достижения экологии конца XX столетия связаны как с новыми техническими возможностями, так и с совершенствованием количественных методов описания сложных процессов, происходящих в экосистемах. Особенно наглядно новые возможности проявились в изучении круговорота веществ и потоков энергии в больших масштабах. В последние годы в экологии возникло новое направление – *макроэкология* – сравнительное изучение разных видов в масштабах больших пространств (по

размерам сопоставимых с континентами). Примером макроэкологических исследований может служить проведенное со спутников дистанционное определение содержания хлорофилла в поверхностных водах моря, что позволило составить карты распределения фитопланктона для всего Мирового океана и оценить сезонные изменения его продукции.

21.2. Основные характеристики экосистем

Организмы, входящие в экосистему, связаны общностью получаемой энергии и питательных веществ. Специализация живых организмов в качестве производителей и потребителей пищи создает в экосистеме так называемую *трофическую структуру*, в пределах которой происходит перенос энергии и круговорот питательного вещества. По участию в биологическом круговороте питательных веществ в экосистеме различают три группы организмов.

Продуценты (производители) – автотрофные организмы, которые синтезируют органические соединения с помощью солнечной энергии из углекислого газа и воды, а также из содержащихся в почве минеральных веществ. Биомасса органического вещества, синтезированного автотрофами в ходе фотосинтеза, является первичной продукцией, а скорость ее формирования называется *биологической продуктивностью экосистемы*. Накопленная в виде биомассы первичная продукция служит источником питания для представителей следующих групп организмов.

Консументы – гетеротрофные организмы, которые потребляют первичную продукцию, питаясь готовыми органическими веществами растений или животных. Получаемую пищу консументы используют для построения своего тела, а также для обеспечения своей жизнедеятельности.

Редуценты (или *деструкторы*) – полностью разлагают все растительные или животные остатки до неорганических веществ. К редуцентам относятся бактерии, а также грибы. Минерализованные остатки потребляются продуцентами, и тем самым круговорот веществ в экосистеме замыкается.

В процесс круговорота веществ в экосистеме происходит перенос энергии от ее источника – автотрофов – через ряд организмов по пищевой цепи. Число звеньев в ней может быть различным, но обычно их бывает от 3 до 5. *Трофический уровень* – это совокупность организмов, получающих преобразованную в пищу энергию Солнца через одинаковое число посредников трофической цепи. Первый трофический уровень занимают автотрофы (продуценты) – зеленые растения; второй – травоядные (консументы первого порядка); третий – хищники, поедающие травоядных (консументы второго порядка); четвертый – хищники, поедающие хищников

третьего трофического уровня и т.д. Замыкают этот ряд редуценты, разлагающие органические остатки.

На каждом трофическом уровне потребленная пища ассимилируется не полностью – значительная ее часть (до 80–90%) тратится на обмен веществ и энергетические затраты. По этой причине в наземных экосистемах суммарная биомасса (а также численность особей) прогрессивно уменьшается по мере восхождения по трофическим уровням: наибольшую массу имеют (на единицу площади) продуценты; далее следуют консументы первого порядка, за ними – консументы второго порядка и т.д. Эта закономерность была сформулирована в 1927 г. американским зоологом Чарльзом Элтоном и носит название *правила экологических пирамид*. Суммарная масса растительного вещества, служащего основой цепи питания (продуцентов) примерно в 10 раз превосходит массу растительноядных животных, питающихся им (то есть консументов первого порядка). Масса растительноядных животных в 10 раз превосходит массу плотоядных. Эта закономерность сохраняется и дальше: суммарная масса организмов, принадлежащих одному уровню трофической цепи, примерно в 10 раз превосходит массу организмов следующего уровня. Правило экологических пирамид является обобщением большого числа наблюдений.

В 1942 г. эколог Раймонд Линдеман предложил общую схему трансформации энергии в экосистеме. В частности, он показал теоретически, что при переходе с одного трофического уровня на другой (от растений к травоядным животным, от травоядных – к консументам первого порядка и т.д.) количество энергии уменьшается и организмам каждого последующего уровня оказывается доступной только небольшая часть (не более 10%) от той энергии, которая была в распоряжении организмов предыдущего уровня.

21.3. Устойчивость экосистем

Устойчивость экосистем определяется многими факторами. Она зависит от видового разнообразия организмов, составляющих данную экосистему; от сложности трофических и пространственных связей между организмами; от генетического разнообразия особей в популяциях; от способностей входящих в экосистему популяций противостоять изменяющимся условиям среды. Биотические связи между организмами способствуют круговороту веществ, что является основой целостности и продолжительности существования экосистемы.

Всякая экосистема связана с окружающей средой множеством связей, оказывающих на нее определенное влияние. Эти факторы принято делить на три группы.

1. *Абиотические* факторы представляют собой воздействия на экосистему со стороны неорганической среды. Абиотические факторы подразделяются на физические (температура, давление, ветер, влажность, электромагнитные излучения, радиация), и химические (состав атмосферы, воды, почвы).

2. *Биотические* факторы – воздействия на экосистему других организмов, приводящие к созданию цепей питания. Эти воздействия, как правило, носят двусторонний характер.

3. *Антропогенные* факторы – воздействия, прямо или косвенно связанные с человеческой деятельностью.

Эффект воздействия экологического фактора зависит не только от его характера, но и от интенсивности. Чем больше интенсивность фактора отличается от оптимальной, тем сильнее угнетается жизнедеятельность организма. Границы, за которыми существование организма или вида невозможно, называются *пределами выносливости*. *Экологическая пластичность* организма состоит в свойстве адаптации к определенному диапазону факторов среды. Чем шире диапазон колебаний экологического фактора, в пределах которого вид может существовать, тем больше его экологическая пластичность и тем больше его адаптационные возможности.

В любой экосистеме численность каждого входящего в него вида постоянно меняется даже при неизменных внешних условиях. Это связано с тем, что между популяциями, составляющими экосистему, происходят различные и, как правило, весьма сложные взаимодействия. Даже в простейшем случае – для экосистемы, состоящей из двух видов, связь между которыми осуществляется по типу «хищник-жертва», наблюдаются периодические колебания численности составляющих ее видов. Например, в экосистеме «волки-зайцы» рост числа зайцев приводит к увеличению числа волков, для которых зайцы являются пищей. Увеличение числа волков приводит к уменьшению числа зайцев. Уменьшение пищи для волков ведет к уменьшению их числа, что, в свою очередь, приводит к увеличению числа зайцев, и далее процесс периодически повторяется.

Помимо естественных, существуют искусственные экосистемы, созданные человеком, – *агроэкосистемы* или *агробиоценозы* (примерами агробиоценозов могут служить лесополосы, поля, сады, животноводческие комплексы, пруды, парки). В настоящее время развиваются морские агробиоценозы, например, прибрежные аквакультуры для разведения пищевых моллюсков и ценных пород рыб. По сравнению с естественными, искусственные экосистемы беднее в видовом отношении, что вызывает их неустойчивость. Такие экосистемы не обладают саморегуляцией. Поэтому длительное существование искусственных экосистем требует постоянных усилий человека.

Например, городской лес обладает вчетверо меньшей фотосинтетической активностью, чем естественный, – это объясняется тем, что городские парки значительно беднее загородных лесов по видовому составу. Вследствие видового однообразия, посаженный лес способен прокормить лишь скудный состав зверей и птиц. Наиболее устойчивыми являются те экосистемы, которые состоят из максимально большого числа видов. Поэтому исчезновение даже одного вида понижает видовое разнообразие природных сообществ, что приводит к их неустойчивости. Уменьшение разнообразия видов в экосистемах приводит и к другим негативным последствиям. Так, из-за введения монокультур теряется ландшафтное разнообразие (например, монокультура хлопчатника в Средней Азии). В последние десятилетия в результате слияния наций и включения малых этносов в состав больших наблюдается тенденция утери экологического и этнографического разнообразия человека.

- Информационная мера M видового разнообразия может быть задана формулой

$$[13] M = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \text{ где } n - \text{число видов в экосистеме, } p_i = N_i/N, N_i - \text{численность } i\text{-го вида, } N = \sum_{i=1}^n N_i.$$

Таким образом, в приведенной формуле p_i есть

доля представителей i -го вида в экосистеме. Несложно показать, что показатель видового разнообразия достигает максимума при $p_i = 1/n$, т.е. когда все виды имеют одинаковую численность. Однако это не соответствует реальности, поскольку в естественных условиях всегда существуют доминирующие виды, доля которых существенно больше средней. Таким образом, основной недостаток информационной меры видового разнообразия состоит в том, что она не учитывает взаимодействий внутри сообщества. Использование показателя разнообразия M можно считать оправданным для экосистем, в которых взаимодействия между составляющими их видами достаточно слабо.

- Концепция видового разнообразия экосистем тесно связана с понятием их сложности. Как и для общекибернетических систем, для экосистем понятие их сложности является весьма нечетким и, потому, плохо формализуемым. Одной из важнейших задач в этом плане является задача определения меры сложности экосистемы. Разумеется, эта задача возникает не для реально существующих экосистем, а для их формализованных моделей.

Хотя проблема устойчивости экосистем имеет первостепенное значение для деятельности человека (с этой проблемой мы сталкиваемся, например, при рассмотрении вопросов эксплуатации природных ресурсов, проведении крупных хозяйственных мероприятий, оценке степени загрязнения окружающей среды и т.п.), общепринятое определение понятия устойчивости применительно к экологическим системам до сих пор не выработано. Экологическая устойчивость включает в себя следующие группы требований [14].

А. Неизменность географического региона во времени. При этом регион может включать в себя большое число различных биогеоценозов, экосистемы которых достаточно слабо связаны между собой. Основными процессами, влияющими на динамику численности населяющих его отдельных видов, являются глобальные геохимические циклы, а также антропогенные воздействия.

В. Сохранение числа видов в биологических сообществах. Биологическое сообщество рассматривается как более высокий, чем популяционный, уровень организации живой материи. Концепция биологического сообщества основана на том, что популяции живых организмов являются не случайными образованиями, разбросанными по территории, а образуют организованные системы. Биологическое сообщество считается устойчивым, если число составляющих его видов не меняется в течение достаточно длительного времени.

С. Неизменность численного состава популяций. Это условие близко к термодинамическому понятию стабильности системы (в термодинамике система считается стабильной, если вероятности больших флуктуаций, способных увести систему далеко от состояния равновесия, достаточно малы).

Как и термодинамическая система, экосистема, благодаря постоянному поглощению вещества и энергии, развивается в направлении перехода к некоторому устойчивому состоянию, при этом устойчивость достигается выработкой определенных саморегулирующихся механизмов. Когда это устойчивое состояние достигнуто, то перенос энергии и вещества в системе стабилизируется.

21.4. Загрязнения окружающей среды.

Антропогенные воздействия на экосистемы

Наибольший вред природным экосистемам наносят загрязнения окружающей среды. Типы таких загрязнений весьма различны. Во-первых, они подразделяются на естественные – возникающие в природе, и техногенные – создаваемые человеком.

- В качестве примера естественного загрязнения рассмотрим загрязнение водоема листьями опадающих лесов. Листья, попадающие осенью в пруды и ручьи, оказывают вредное воздействие на жизненные процессы, происходящие в этих водоемах, заслоняя собой свет (что влияет на кислородный обмен между водой и воздухом) и поглощая при своем разложении растворенный в воде кислород. В периоды максимального загрязнения воды листьями наблюдалась гибель рыб в водоемах, которые не подвергались никаким другим загрязнениям. Помимо сильного снижения концентрации кислорода, значительно изменялись также концентрации железа, марганца, бикарбоната и рН воды.

Существенное различие между естественным и техногенным загрязнением состоит в том, что вещества естественного происхождения биологически разлагаются (притом, как правило, довольно быстро) и всегда присутствуют в числе нормальных составляющих экосистем [15].

Перейдем теперь к рассмотрению основных видов техногенных загрязнений и их последствий. Таким загрязнениям подвергаются все три основные составляющие биосферы: воздух, вода, почва. Поэтому, в конечном счете, речь идет о загрязнении биосферы. Главными источниками техногенного загрязнения биосферы служат промышленные предприятия (предприятия черной и цветной металлургии, цементные заводы, предприятия химической промышленности, газовые и нефтеперерабатывающие заводы) и транспорт (автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный). Любой производственный процесс, идущий с потреблением энергии, сопровождается ее рассеянием в окружающую среду (в том числе и в виде загрязнений). Большинство «горячих» технологий сопряжено со значительными выбросами в атмосферу продуктов сгорания, электроемкие производства часто связаны с токсичными отходами электролиза и сильными электромагнитными полями. Свой вклад в загрязнение природы вносят шахты, рудники, сельскохозяйственные угодья, городские свалки и канализации [16]. **Основными загрязнителями воздуха** являются пылевые частицы, природа которых зависит от типа промышленного предприятия, и газообразные вещества, образующиеся в результате неполного сгорания и работы автотранспорта (наиболее распространенными среди таких веществ являются окись и двуокись углерода, окислы азота, соединения фтора, сернистый ангидрид, фенолы, сероводород).

Основные источники загрязнения воды

- *Химические загрязнения.* Они происходят из-за сброса стока промышленных предприятий. Такие стоки содержат различные кислоты, щелочи, цианиды, фенолы, соли железа, тяжелые металлы и другие минеральные и органические токсические вещества.
- *Загрязнения природных вод нефтью.* Масштабы нефтяного загрязнения морей и океанов огромны. Миллионы тонн нефти ежегодно поступает в морские и пресноводные экосистемы при авариях нефтеналивных судов, на нефтепромыслах в прибрежных зонах, при сбросе с судов балластных вод и т. п.
- *Биологическое (бактериальное) загрязнение органическими веществами.* Его источниками являются городские канализационные стоки, продукты обработки полей и лесов ядохимикатами, а также стоки промышленных предприятий некоторых типов (целлюлозно-бумажных, пищевых, текстильных). Часто соединение органического и химического загрязнений дает крайне опасное *смешанное* загрязнение.

- *Механическое загрязнение.* Оно возникает в результате сброса твердых инертных веществ – глины, шлака, песка, угольной пыли – предприятиями горнодобывающей промышленности, шахтами, глиняными карьерами, драгами, установками для промывки гравия при бетонных работах.
- *Тепловое загрязнение.* Оно происходит в результате сброса вод тепловыми и атомными электростанциями (АЭС). Тепловое загрязнение представляет серьезную опасность для жизни экосистем, особенно в сочетании с другими видами загрязнений.
- *Радиоактивное загрязнение.* Оно вызывается ядерными взрывами, авариями на АЭС и других установках, использующих ядерную энергию. Источниками радиоактивного заражения могут быть также некоторые медицинские и биохимические лаборатории, из которых радиоактивные вещества попадают в воздух, почву и сточные воды.

На поверхности суши, кроме перечисленных выше источников загрязнения, вредное воздействие на наземные биогеоценозы оказывают шахтные отвалы (терриконы), отвалы теплоэлектростанций, сбросы отработанных нефтепродуктов, солевых растворов, концентрированных кислот. Загрязнение наземных биогеоценозов обычно начинается с частичного угнетения организмов, населяющих почву и поверхностные воды, затем страдает высшая растительность и, наконец, начинается деградация почвы и разрушение почвенного покрова.

Вблизи крупных промышленных предприятий в результате постепенного отмирания растительности, процессов развития эрозии почв, приводящих к полному разрушению почвенного покрова, зачастую формируются техногенные пустыни. Огромный вред экосистемам наносят промышленные аварии. Особенно опасны аварии на АЭС, при транспортировке и хранении химических продуктов (утечки нефти, газа, газообразного хлора и т.п.). Негативные последствия антропогенных воздействий на экосистемы могут быть весьма разнообразными. Приведем ряд примеров.

1. В результате химического и бактериального загрязнения воды снижается концентрация растворенного в ней кислорода. На этих участках полностью отсутствует нормальная флора и фауна, зато в больших количествах встречаются представители некоторых видов, приспособленных к существованию в анаэробных условиях. К ним относятся газообразующие бактерии; бактерии, окисляющие сульфиты; простейшие и беспозвоночные. В такой среде, подверженной резким изменениям условий, число видов невелико, однако их популяции могут быть колоссальными. В тяжелых случаях, в результате сброса загрязненных сточных вод, в водоеме наблюдается уничтожение всех живых существ на расстоянии от нескольких сот метров до десятков километров от места сброса.

2. Последствием механического загрязнения воды является ее замутнение, что приводит к нарушению функционирования экосистем. В частности, из-за ухудшения видимости хищные рыбы становятся неспособными к добыванию пищи и погибают; осадки, которые осаждаются на корнях придонных растений, убивают придонных животных (например, икру форели и лососевых рыб). Также уменьшается проникновение в воду света, необходимого для фотосинтеза.

3. Отрицательный эффект на проживающие в воде организмы оказывает тепловое загрязнение. Температура большинства водных животных близка к температуре воды, поэтому ее изменение влияет на их активность, потребление энергии и потребление кислорода. Даже небольшое увеличение температуры воды может оказаться достаточным для разрушения структуры водного сообщества.

4. Очень опасно загрязнение почвы нефтью. При высоких дозах нефти почвенная масса становится плохо проницаемой для воды, структурные элементы почвы покрываются нефтяной пленкой, которая изолирует питательные вещества от корневых систем растений. Почвенные частицы слипаются, нефть загустевает и почвенный слой превращается в асфальтоподобную массу, которая совершенно непригодна для произрастания растительности.

5. Радиоактивное загрязнение воздействует, главным образом, косвенным путем, вызывая генетические, канцерогенные и прочие последствия. Радиоактивные вещества, сбрасываемые в воду, почву и воздух, включаются в цепи питания, последним звеном которых является человек. Некоторые из радиоактивных молекул могут внедряться в ДНК, т.е. в устойчивый генетический материал, из которого строятся гены и хромосомы.

Приведенные примеры убедительно показывают, насколько тонко отрегулированы все природные системы. Даже такое, казалось бы, нейтральное вмешательство в природу, как переселение животных или растений в новую среду обитания, нарушает сложившееся за миллионы лет равновесие и может привести к непредсказуемым последствиям. Хрестоматийный пример – завоз кроликов в Австралию.

Тема 22. Человек и биосфера

Основные вопросы:

22.1. *Изменение характера отношений человека и биосферы.*

Проблемы роста народонаселения.

22.2. *Наступление человека на живую природу.*

22.3. *Проблема углекислого газа и парниковый эффект.*

22.4. *Проблема озонной дыры.*

22.5. *Плоды техногенной цивилизации.*

22.1. Изменение характера отношений человека и биосферы. Проблемы роста народонаселения

Благодаря способности к саморегуляции, биосфера обладает исключительной устойчивостью, что позволяет ей уже в течение нескольких миллиардов лет поддерживать весь сложный комплекс условий, необходимых для существования жизни на Земле. Динамическая устойчивость биосферы обуславливается совместной деятельностью огромного числа входящих в ее состав экосистем, каждая из которых связана с другими экосистемами и играет определенную роль в функционировании биосферы. Не составляет исключения и человеческое сообщество: будучи частью природы, человек всегда оказывал определенное влияние на среду своего обитания и, тем самым, на биосферу. В течение миллионов лет воздействие людей на природу было аналогично воздействиям прочих живых сообществ: беря у природы средства к существованию, они отдавали ей то, что использовали другие организмы. В силу универсальной способности микроорганизмов производить разрушение органического вещества, последствия биологической и хозяйственной деятельности человека включались в биотический круговорот и, тем самым, основные параметры биосферы оставались неизменными.

Однако в последнее время ситуация в корне изменилась. В течение одного столетия резкое увеличение нагрузки на окружающую среду, вызванное ростом народонаселения, стремительным прогрессом техники и хищническим использованием природных ресурсов, привело к тому, что по масштабам влияния на биосферу хозяйственная деятельность человечества стала сопоставимой с естественными факторами, которые определяли развитие биосферы на протяжении всей истории ее существования. Продолжая использовать природные ресурсы во всевозрастающих объемах, промышленность и сельское хозяйство вносят в природу те продукты, которые не перерабатываются другими живыми организмами (а подчас и ядовитые вещества); тем самым биотический круговорот становится незамкнутым. В результате нарушаются основные закономерности, лежащие в основе длительного существования жизни: замкнутость биотического круговорота, локализация и уничтожение вредных отходов, экономное расходование природных ресурсов (см. [15]).

Следует подчеркнуть, что воздействия человека на природу (антропогенные воздействия) не всегда носят негативный характер. Примерами позитивных воздействий служат различные виды воспроизводства природных ресурсов (лесопосадки, водохранилища, природоохранные зоны); регулирование численности отдельных видов растений и животных; рекультивация земель; искусственное орошение и обводнение; осушение бо-

лот; создание национальных парков и т.п. Далее мы сосредоточим внимание на негативных антропогенных воздействиях и их последствиях.

Ключевую роль в вопросах взаимоотношений человека и биосферы играет рост численности населения Земли. К началу новой эры население Земного шара составляло примерно 300 млн человек. К середине XVII в. оно достигло 500 млн человек, к началу XIX века – 1 млрд, а к концу XX века – 6 млрд. В настоящее время численность населения Земли (по оценке) превысила 7 млрд человек. Важнейшей характеристикой скорости роста населения является период его удвоения. Если в античные времена и в средние века период удвоения численности населения колебался между 1 000 и 2 000 лет, в XVIII веке он составлял около 200 лет, в XIX веке – 100 лет, а во второй половине XX века – 40 лет (этот период получил название «демографического взрыва»). В настоящее время темпы народонаселения замедлились. По прогнозам демографов к середине XXI века численность населения Земли достигнет 9 миллиардов, а концу XXI века на Земле будет проживать не менее 10 млрд человек.

В связи со сказанным, возникает естественный вопрос: а какое количество людей может прокормить планета Земля? Известный немецкий специалист В. Р. Шмит, выступая в дискуссии о пищевых ресурсах планеты, достаточных для обеспечения населения в XXII веке, заявил, что потенциальные источники пищи – сельское хозяйство, водное хозяйство и микробиологическая промышленность – способны удовлетворить потребности в органическом веществе 25–30 млрд человек. Сходной точки зрения придерживается известный физик С. П. Капица. Нехватка пищевых ресурсов, проявляющаяся уже сейчас, объясняется не природными, а социально-экономическими причинами.

Прямым следствием увеличения народонаселения является рост городов – как по численности, так и по площади. Природные зоны, находящиеся между городскими поселениями, стремительно сокращаются. Образуется огромные конгломераты населения – мегаполисы. Типичный пример мегаполиса – полоса, протянувшаяся почти на 1000 км вдоль Атлантического побережья США от Бостона до Вашингтона (так называемая Северо-Восточная агломерация или, сокращенно, БосВаш). На площади около 110 тыс. кв. км здесь живет свыше 45 млн человек (средняя плотность населения составляет более 400 человек на км²). В Европе быстро превращаются в мегаполисы территории, находящиеся между Амстердамом и Парижем, а также вдоль Рейна – от Кельна до Рура.

Начиная с определенных размеров, которые можно считать критическими, резко обостряются отрицательные черты многомиллионного города. Реакцией общества на сложившуюся ситуацию явилось создание организаций, объединяющих специалистов различных профессий, целью которых является составление проектов реорганизации структуры городов.

Один из таких проектов исходит из того, что к тому времени, когда численность населения Земли достигнет 15 млрд, все человечество сможет разместиться в 60 000 городах с населением по четверть миллиона человек, причем каждый такой город будет окружен 16 000 гектаров свободной земли. Существует множество других проектов и моделей городов будущего, сочетающих урбанизацию с сохранением природной среды [17].

- Не следует думать, что увеличение плотности населения автоматически приводит к ухудшению условий окружающей среды. Например, в Европе, где плотность населения колеблется от 40 до 200 человек на квадратный километр, успешно сохраняются уцелевшие остатки палеарктической флоры и фауны. В национальных парках и заповедниках сохранились настоящие леса и горные ландшафты с волками, медведями и дикими кабанам.

В Японии, где средняя плотность населения достигает 336 человек на квадратный километр, в горных массивах национального парка Акан, расположенного в восточной части острова Хоккайдо, сохранились рододендрон, пятнистый олень, бурый медведь. А находящийся на скалистом побережье северо-западной части острова Хонсю национальный парк Санрику представляет собой идеальное место для гнездовья птиц, привлекающее огромные стаи морских чаек.

В то же время в Центральной Америке, где средняя плотность населения составляет менее 40 человек на квадратный километр, экосистемы находятся в удручающем состоянии. И хотя в Центральной Америке сохранились нетронутые человеком места и их относительно гораздо больше, чем в Европе, к ним проявляется полное равнодушие, и они стремительно исчезают с лица Земли.

22.2. Наступление человека на живую природу

Рост народонаселения, развитие промышленности, сельского хозяйства, транспорта сопровождаются наступлением на живую природу. Для обеспечения населения продовольствием, строительства новых городов, промышленных предприятий, складов, электростанций, дорог требуются все новые площади, которые создаются за счет вырубки лесов и распахивания целинных земель. По современным оценкам, обработанные земли заменили почти 20% лесов умеренной зоны и такую же часть степной зоны. В настоящее время распаханные земли занимают около 12% всей суши, составляя территорию, равную по площади такому континенту, как Южная Америка; при этом в отдельных странах площадь, отведенная под сельскохозяйственные угодья, доходит до 70%. Быстрыми темпами растет потребление природных ресурсов. Если в 1913 г. на каждого жителя планеты приходилось в среднем 4,9 т природных ресурсов, то в 1940 г. – 7,4 т, в 1960 г. – 14,3 т, в 2000 г. – 45 т. Для своих нужд человечество ежегодно добывает около 100 млрд т полезных ископаемых, причем большая часть этих ресурсов (уголь, нефть, минералы) является невозполнимой.

Стремительно сокращаются лесные массивы. Если раньше вся Европа была покрыта лесами, то в настоящее время, например, в Великобрита-

нии леса составляют только 10% площади страны; многие районы Греции, Италии, Испании практически безлесны. Во все возрастающих масштабах идет уничтожение тропических лесов – важнейшего компонента биосферы. Между тем, любой лес представляет собой сложную биологическую систему, которая отличается высокой регуляторной способностью. Одна из важнейших сторон «функционирования» леса заключается в стабилизации водообращения. Через листья растений происходит испарение воды, а корни растений поглощают выпадающую в виде осадков влагу, которая постепенно просачивается через почву, питая подземные источники воды. Благодаря этому, покрытая лесами почва становится резервным резервуаром, создаваемым самой природой на случай засухи.

С другой стороны, удержание дождя и снега растительным покровом и впитывание их почвой снижает пики при переизбытке влаги. Таким образом, лес является естественным регулятором водоснабжения. Поэтому уничтожение лесов, прежде всего, нарушает водный баланс планеты. Вследствие этого мелеют реки, заболачиваются озера, приводя к уничтожению нерестилищ и сокращению численности рыб. Уменьшаются запасы грунтовых вод, высыхает почва. Талая вода и дождевые потоки смывают плодородный почвенный слой, который высушивается солнцем и разносится ветром, – в результате происходит эрозия почвы. Древесина, ветви, кора, подстилка аккумулируют минеральные вещества, необходимые для питания растений. Сведение лесов ведет к вымыванию этих элементов из почвы, приводя к падению ее плодородия. С вырубкой лесов гибнут населяющие их птицы, звери, насекомые-энтомологи. В результате вредители сельскохозяйственных культур беспрепятственно размножаются и пожирают значительную часть урожая (по данным мировой статистики – не менее одной пятой). Далее, лес очищает воздух от ядовитых загрязнений; в частности, он задерживает радиоактивные осадки, препятствуя их дальнейшему распространению. Таким образом, вырубка лесов устраняет важную составляющую самоочистки воздуха. Наконец, уничтожение лесов на склонах гор является существенной причиной образования оврагов и селевых потоков (см. [15]).

- Следует отметить, что причина уничтожения лесов кроется не только в хозяйственной деятельности человека. Так, истребителем лесов является обычное домашнее животное – коза. Коза не просто щиплет траву – она вырывает ее с корнями. Козы обгладывают побеги деревьев и кустарников, лишая их возможности расти. Очень пострадала от ненасытного аппетита коз Северная Африка. Именно козы повинны в том, что большая часть побережья Средиземного моря лишена деревьев. Оголились известковые горы Сирии, Ливана, Израиля. Статистика Мадагаскара дает следующие цифры: в 1936 г. на остров было ввезено несколько сот ангорских коз; в 1937 г. их насчитывалась 1 тысяча; в 1946 г. – 23 тыс.; в 1949 г. – 203 тыс.; в 1950 г. – 276 585. В настоящее время число коз на Мадагаскаре приближается к двум миллионам. Козы уже превратили некоторые районы огромного острова в пустыню.

Наступление на естественные биоценозы проявляется также в истреблении диких животных. Охота на зверей всегда сопровождала человека и служила одним из источников существования первобытных народов. Однако, поскольку их оружие не обладало такой мощностью, какой обладает современное огнестрельное оружие, охота в те времена не нарушала биологического равновесия в природе. В настоящее время, когда охота приняла характер массовой бойни, это равновесие оказалось под угрозой.

- Необходимо отметить, что уже охотники каменного века уничтожили много видов современных им животных. К числу жертв позднего каменного века относятся мамонты, а также многие другие крупные растительноядные животные: мастодонты, шерстистые носороги, гигантские ленивцы, пещерные медведи. Как показывают наблюдения за современной фауной, все крупные млекопитающие на протяжении своей жизни имеют очень немного детенышей (ввиду сравнительно безопасного существования крупных зверей, этого достаточно для поддержания численности видов). Когда человек начал охотиться на крупных животных, они, в отличие от мелких животных с их многочисленным потомством, не смогли восстановить потерь, создаваемых систематической охотой. Это и послужило причиной их вымирания. Наряду с полным уничтожением крупных животных, охотники древности истребляли менее крупных животных – оленей, диких лошадей и многих других. Это привело к исчезновению ряда видов, для которых истребляемые животные служили пищей.

В настоящее время процесс исчезновения диких животных идет все ускоряющимися темпами. Так, за последние 20 веков исчезло 106 видов крупных млекопитающих, причем за первые 18 веков вымерло всего 33 вида, за последующие сто лет исчезло еще 33 вида, а за следующие 50 лет вымерло 40 видов. Вот несколько примеров варварского истребления человеком крупных млекопитающих. Тур (первобытный бык) еще до нашей эры заселял всю Европу, Малую Азию и Северную Африку. В доисторическое время туры жили также в Сибири и Казахстане. Став повсеместным объектом охоты, эти животные в XII–XIV вв. были истреблены на большей части Европы, дожив лишь в Польше до конца XVI в.

Другой предок домашних животных – дикая лошадь тарпан – некогда обитал в степях Европы, доходя на севере до Польши, Литвы и Пруссии. Дольше всего сохранялись эти животные на юге Украины. Последний дикий тарпан был убит в 1879 г.

Среди безвозвратно утерянных крупных животных большую ценность для населения тихоокеанского побережья Азии имела морская корова. Стада морских коров заселяли прибрежные мелководья Командорских островов в северной части Тихого океана. Моряки, посещавшие Командорские острова по дороге от Камчатки до Аляски, а также охотники на каланов заготавливали мясо морских коров как легкодоступный и дешевый источник продовольствия. В результате последняя морская корова была убита в 1768 г.

Прежде почти по всей Северной Америке был широко распространен бизон. По оценкам исследователей, в 1800 году численность стада бизонов составляла 30–40 миллионов голов. В XIX веке началось их массовое истребление; в результате к концу века осталось менее одной тысячи животных.

Полностью истреблен один из самых многочисленных и явно процветающих видов птиц Северной Америки – странствующий голубь. Европейские переселенцы начали массовое истребление этих птиц еще в начале XVII в. Их отстреливали, ловили сетями, сбивали на землю шестами, рубили деревья, на которых были их гнезда – убивали сотни тысяч и миллионы птиц. Но вскоре странствующие голуби стали редкостью, во что долго не могли поверить. Последняя старая голубка умерла в зоопарке г. Цинциннати в 1914 г.

Не лучше обстоят дела и с морской фауной. По оценкам, в Северном море истощены запасы, по крайней мере, двух третей видов рыб. В Северной Атлантике к 1990 г. выловлена почти вся треска. В целом за 1995 г. улов рыбы в морях был вдвое больше, чем за 1970 г. В докладе Организации Объединенных Наций за 1995 г. отмечено, что общее количество исчезнувших видов за последние 400 лет составляет около 500 для животных и более 600 для растений, причем допускается, что эти данные определенно занижены, особенно в отношении тропических видов.

22.3. Проблема углекислого газа и парниковый эффект

Для увеличения производства продовольствия и промышленных товаров, отопления, работы транспорта человечество потребляет все больше энергии. Основная часть энергии получается за счет сжигания ископаемых углеводородов – нефти, газа угля, горючих сланцев. Сжигание представляет собой процесс окисления, заканчивающийся образованием углекислого газа CO_2 , паров воды и других продуктов, которые выбрасываются в атмосферу. С наступлением промышленной революции в середине XIX века происходило неуклонное увеличение антропогенных выбросов двуокиси углерода в атмосферу, что привело к нарушению баланса углеродного цикла.

Производственные выбросы углекислого газа существенно превышают естественные способности биосферы регулировать содержание углекислого газа в атмосфере, в силу чего его концентрация непрерывно растет. Регулярные наблюдения за содержанием углекислого газа в атмосфере ведутся на Гавайских островах (в обсерватории Мауна-Лоа), на станции Южный Полюс в Антарктиде и многих других станциях мира. Вот некоторые данные. В первой половине XX века содержание CO_2 в нижней части атмосферы считалось равным 0,03%. В 1956 г. по многим сотням измере-

ний вдали от городов и промышленных центров эта величина была уточнена и оказалась равной 0,028%. К 1985 г. содержание CO_2 возросло до 0,034%, а в настоящее время оно оценивается в 0,035%. Таким образом, менее чем за 50 лет содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось на четверть его первоначальной величины и продолжает увеличиваться возрастающими темпами. Измерения также показывают, что за последние 200 лет концентрация углекислого газа возросла на 30% от естественного, доиндустриального уровня. Согласно отдельным исследованиям, современный уровень CO_2 в атмосфере является максимальным за последние 800 тысяч лет.

К каким последствиям это может привести? Молекулы CO_2 обладают способностью пропускать коротковолновое излучение и поглощать длинноволновое. Благодаря этому, весьма небольшое количество углекислого газа в атмосфере задерживает до 18% теплового излучения Земли, сохраняя среднюю температуру на нашей планете на достаточно высоком уровне. Представляется естественным, что повышение концентрации CO_2 должно увеличить количество задерживаемого тепла, что приведет к повышению температуры приземного слоя атмосферы и глобальному потеплению. Это явление получило название *парникового эффекта* – по аналогии с эффектом повышения температуры в огородных парниках.

- Гипотеза о том, что сжигание топлива во всевозрастающих количествах должно привести к увеличению содержания в атмосфере углекислого газа и, как следствие, к потеплению климата, одним из первых была высказана известным климатологом и метеорологом М.И. Будыко в 1962 г. В нашей стране эти идеи были встречены скептически, однако их поддержали американские метеорологи.
- В 1987 г. был опубликован доклад международной комиссии, возглавляемой премьер-министром Норвегии Г. Х. Брундтланд, в котором, в частности, было сказано, что «трудно представить себе проблему с более глобальными последствиями для человеческого общества и естественной окружающей среды, чем парниковый эффект». В докладе высказывалось опасение, что уже в ближайшем будущем парниковый эффект способен вызвать такое потепление в атмосфере Земли, в результате которого растают материковые льды Антарктиды и Гренландии. Это приведет к подъему уровня Мирового океана на величину от 25 до 140 см, что будет иметь катастрофические последствия: произойдет затопление низкорасположенных территорий, на которых находятся города, дороги, мосты, леса и сельскохозяйственные угодья.
- Известный отечественный метеоролог, исследователь радиационных процессов в атмосфере К. Я. Кондратьев [18] считает, что повышение температуры воздуха внутри покрытого стеклом закрытого парника обусловлено не столько изменением радиационного баланса, сколько особенностями турбулентного обмена воздуха, расположенного внутри парника с воздухом вне парника. В связи с этим парниковый эффект трактуется им как результат экранирования инфракрасного излучения, идущего от поверхности Земли и нижней атмосферы, поглощающими его атмосферными компонентами.

Проведенные в последние годы исследования проблемы парникового эффекта показали, что она является исключительно сложной и многоаспектной [19]. В частности, обнаружилось, что, исходя из количества сжигаемого топлива, углерода в атмосфере должно было накопиться во много раз больше, чем его оказалось фактически. Причина этого несоответствия состоит в том, что существуют четыре крупных «резервуара» углерода, между которыми происходит постоянный его обмен: атмосфера, океан, биосфера, земная кора. Так, вулканы выбрасывают углекислый газ во время извержений, а также он выделяется при выветривании известняков; в океане углекислый газ находится в растворенном виде; растения используют его в процессе фотосинтеза, а животные выделяют CO_2 при дыхании и при разложении отмерших организмов.

Основным «резервуаром» углекислого газа является океан. Способность океана поглощать CO_2 в значительно больших количествах, чем другие газы, связана с тем, что часть молекул углекислого газа успевает вступить в реакцию с водой, образуя угольную кислоту H_2CO_3 . Она распадается на ионы, которые связываются с находящимися в морской воде ионами кальция, и образуют нерастворимую соль CaCO_3 , оседающую на дно и формирующую известковые породы. Сходным образом действуют некоторые фотосинтезирующие морские организмы: они захватывают атмосферный углерод, попадающий в океан в форме углекислоты, растворенной в каплях дождя; пройдя длинные пищевые цепи, углерод, в конце концов, оседает на дно океана и постепенно превращается в известковые породы или концентрируется в залежи углеводородов. Эти процессы идут в океане уже миллиарды лет. В результате органическим путем из атмосферы выведено углерода в 1 000 раз больше, чем его содержится в ней в настоящее время.

Органический и неорганический пути вывода углерода из атмосферы составляют равновесную систему. Человек вмешался в эту систему, добавляя в нее определенное количество углерода. Сейчас океан поглощает примерно половину углерода, добавляемого человеком в естественный круговорот, а другая половина накапливается в атмосфере. Ускорится ли в связи с этим вывод углекислого газа из атмосферы, каким образом и когда – остается пока неизвестным. Но даже многократный рост концентрации углекислого газа в атмосфере не приведет к такому же многократному увеличению средней температуры, так как после двух-трехкратного увеличения концентрации наступает резкое замедление парникового эффекта. Климатологи полагают, что к середине XXI в. содержание углекислого газа в атмосфере удвоится, что приведет к глобальному потеплению. Оно оценивается величиной от 1,5 градуса близ экватора до 4 градусов в высоких широтах. Грозит ли это таянием антарктических льдов? К счастью, нет. Как теперь точно известно по данным буровых скважин, прошедших

всю толщу ледникового щита Антарктиды, он образовался более 30 млн лет тому назад и выдержал с тех пор несколько эпох потепления климата Земли, гораздо более значительного, чем ожидаемое от парникового эффекта. К тому же, ледовые щиты обладают большой тепловой инерцией. Почти 99% континентальных льдов планеты сосредоточено всего в двух ледовых щитах: 90% в Антарктическом и 9% в Гренландском. Толщина Гренландского ледового щита в его центре составляет около 3 км, а Антарктического ледового щита – около 4 км. От поверхности такого ледового щита до его основания температурный сигнал проходит приблизительно за 6 тыс. лет. Для того чтобы хотя бы частично растаяли Гренландский или Антарктический ледовые щиты, необходимо значительное повышение температуры, которое должно продержаться не менее тысячи лет.

Таким образом, потепление, связанное с парниковым эффектом, не грозит резким повышением уровня Мирового океана и, следовательно, не будет иметь катастрофических последствий для жителей планеты Земля. Однако увеличение средней температуры повлечет за собой потепление Арктики и Антарктики, что приведет к уменьшению температурных градиентов – главного двигателя энергосистемы Земли. Вследствие этого произойдет перестройка всей структуры атмосферной циркуляции; в частности, значительно увеличатся испарения с поверхности океанов, что приведет к возрастанию количества летних и зимних осадков над континентами. Это увеличение не будет равномерным. По расчетам, через юг Европы от Испании до Украины протянется полоса, в пределах которой количество осадков останется таким же, как сейчас (или даже несколько уменьшится), а севернее 50 градусов (широта Харькова) и в Европе, и в Америке оно будет с колебаниями постепенно увеличиваться. Следовательно, сток Волги будет возрастать, что сохранит уровень Каспийского моря.

22.4. Проблема озоновой дыры

В конце XX века в атмосфере Земли произошла никем не предсказанная крупномасштабная экологическая катастрофа – разрушение значительной части озонового щита в Антарктике и прилегающих к ней районах. Это явление получило название *озоновой (озонной) дыры*. В озоновой дыре суммарный озон уменьшается на 50–70%, причем концентрация озона на высоте 15–20 км уменьшается на 95–97%, а по своим размерам озоновая дыра соизмерима с Европой.

- Происходящее в весеннее время разрушение озонового слоя в Антарктике – озоновую дыру – впервые обнаружили японские исследователи в 1984 г. В 1985 г. независимо от них и на большем материале этот эффект повторно установили англичане, указавшие также на возможность антропогенного происхождения озоновой дыры. Проведенные отечественными учеными измерения на

озонметрических станциях в различных районах земного шара позволили измерить суммарный озон (количество озона в вертикальном столбе атмосферы) и величину его убывания в Антарктике в весенний период.

- В течение первых трех месяцев 2011 г. впервые в истории наблюдений была обнаружена большая дыра в озоновом слое над Арктикой. На высоте 18–20 километров исчезло более 80 процентов озона. Потери в 2011 г. вдвое превышают то, что можно было наблюдать в «рекордные» арктические зимы 1996 и 2005 годов. По своим размерам эта дыра сравнима с той, которая была зафиксирована над Антарктикой в 1980-х. Метеорологи пока не имеют объяснения причин такого резкого ускорения роста Арктической озоновой дыры и пытаются предсказать ее дальнейшее поведение. Одной из причин образования дыры называется то, что стратосфера оставалась холодной в течение несколько месяцев дольше обычного. Холодный воздух сконденсировал водяной пар и азотную кислоту в полярные стратосферные облака, которые служат катализатором преобразования хлора в его химически активную форму, разрушающую озон. Однако неизвестно, что послужило причиной того, что атмосфера оставалась холодной так долго.

Поскольку озоновый экран является природным щитом, защищающим все живое на Земле от губительного коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца, наличие озоновой дыры представляет собой значительную экологическую опасность. С учетом того, что озоновая дыра является, по-видимому, результатом загрязнения земной атмосферы продуктами человеческой деятельности, необходимо серьезное изучение этого грозного явления. Однако, хотя после открытия эффекта уменьшения концентрации озона над Антарктикой прошло более двадцати пяти лет, до сих пор не разработана общепринятая теория озоновой дыры, которая могла бы корректно ответить на возникающие в связи с ней вопросы. Важнейшими из них являются следующие.

- *Каковы действительные причины возникновения озоновой дыры?*
- *Почему озоновая дыра наблюдается в Антарктике только весной?*
- *Почему озоновый слой много десятков лет находится в устойчивом состоянии?*
- *Каковы методы предотвращения техногенного разрушения озонового слоя?*
- Оригинальную теорию озоновой дыры, дающую ответы на поставленные выше вопросы, предложил в 2003 г. известный отечественный метеоролог Г. П. Гущин, занимающийся исследованием озонового слоя атмосферы. Согласно этой теории, схема образования озоновой дыры выглядит следующим образом [20].

В результате техногенного воздействия в последней трети XX века в атмосфере появились в повышенных концентрациях хлорфторуглероды (фреоны) *Ф-11* (CFCl_3), *Ф-12* (CF_2Cl_2) и *Ф-10* (CCl_4), которые, ввиду турбулентного перемешивания и особенностей циркуляции атмосферы, распространились вокруг всего Земного шара.

Под действием коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца в нижней стратосфере фреоны фотодиссоциируют и выделяют атомный хлор. При взаимодействии с озоном атомный хлор образует окись хлора ClO – *это основ-*

ная реакция, разрушающая озон в атмосфере. В свою очередь, окись хлора, взаимодействуя с двуокисью азота NO_2 , образует относительно химически устойчивую концентрацию нитрата хлора ClONO_2 . Зимой, в условиях антарктической полярной ночи, ввиду отсутствия фотохимического равновесия и фотодиссоциации, концентрация нитрата хлора увеличивается. Весной, с появлением Солнца нитрат хлора фотодиссоциирует с выделением атомного хлора, который, ввиду отсутствия в это время фотохимического равновесия в семействе нечетного кислорода, участвует в дневных каталитических циклах, быстро разрушающих озон. Таким образом, нитрат хлора выступает как катализатор и передатчик хлора из ночной антарктической атмосферы в дневную. Такими же свойствами обладают хлорсодержащие соединения Cl_2O_2 и HOCl . Важным результатом совместного действия рассматриваемых каталитических циклов является непрерывное возобновление концентрации атомного хлора в стратосфере, что приводит к постоянному разрушению озона. Резкое понижение концентрации озона в весенний период (до октября – ноября, когда вновь устанавливается фотохимическое равновесие) создает озоновую дыру.

- Почему же озоновая дыра наблюдается над Антарктикой только весной? Предлагаемая теория объясняет этот феномен за счет наличия над Антарктикой так называемого полярного стратосферного циклона, который играет роль «воздушной завесы», препятствующей горизонтальному турбулентному перемешиванию воздушных масс в стратосфере, в результате чего образуется динамически изолированная часть атмосферы. С окончанием весны в Антарктике происходит перестройка атмосферной циркуляции, приводящая к перемешиванию воздушных масс и увеличению концентрации озона внутри полярного стратосферного циклона до нормальных значений.

Итак, согласно изложенной выше теории, главной причиной возникновения озоновой дыры является имеющее техногенное происхождение фотохимическое воздействие фреонов на озоновый слой, которое вызывает весной в стратосфере Антарктики нарушение фотохимического равновесия в семействе нечетного кислорода и приводит в действие ряд каталитических циклов, разрушающих озон.

Проявление этого эффекта возможно только в районах с динамически устойчивой изолированной частью стратосферы. В Антарктике – это так называемый *полярный стратосферный циклон* – область, ограниченная полярным стратосферным фронтом, которая существует до конца весны и определяет локализацию озоновой дыры. Важными являются вопросы о возможности увеличения размеров озоновой дыры и интенсивности разрушения озона в ней, а также об устойчивости озонового слоя вне озоновой дыры.

Первый вопрос напрямую связан с увеличением размеров полярного стратосферного циклона. Так как за последние 50 лет такого регулярного увеличения не наблюдалось, ответ на этот вопрос, скорее всего, будет отрицательным. Ответ на второй вопрос зависит от увеличения концентрации хлорсодержащих соединений в атмосфере, что напрямую связано с темпом выброса фреонов в атмосферу. Фреоны составляют основу аэро-

зольных бытовых товаров – парфюмерных, инсектицидных, лакокрасочных, а также используются в холодильной промышленности.

Устойчивость озонового слоя вне озоновой дыры обусловлена сохранением состояния фотохимического равновесия (теоретически доказанного Г. П. Гуциным), при условии отсутствия в атмосфере хлорсодержащих компонент в повышенных концентрациях.

В конце XX века были заключены международные соглашения по ограничению выброса фреонов в атмосферу – Монреальский протокол, вступивший в силу в 1989 г., и Лондонские дополнения к нему (1990). невыполнение этих соглашений может повлечь за собой дальнейшее уменьшение концентрации озона в атмосфере. В то же время техногенное разрушение озона эффективно предотвращается с помощью международного сотрудничества и заключения соглашений о сокращении или прекращении производства фреонов, разрушающих озон.

22.5. Плоды техногенной цивилизации

Место естествознания в жизни общества зависит от его связей с важнейшими социальными институтами, прежде всего, с техникой, определяющей развитие производительных сил. Зародившись в эпоху Античности, наука того времени носила пассивно-созерцательный характер и была совершенно оторвана от общественной практики. В Средние века наука находилась под властью религии и основной своей задачей считала обоснование церковных догматов. Эпоха становления современного научного знания – Новое время. Благодаря выдающимся открытиям в естествознании и основанному на них бурному развитию техники, начиная с XVII в. происходят постоянные изменения в жизни людей и характере их труда.

В эпоху Просвещения рационализация научного знания и его распространение среди людей рассматривались как условия гуманизации общества. Начиная со второй половины XIX века, нарастающими темпами развиваются социально-гуманитарные науки. Следствием успешного интенсивного развития научного знания стало распространение убежденности о неограниченных возможностях науки, о том, что наука способна ответить на все вопросы, связанные с окружающим миром и человеческим бытием (так называемый *сциентизм*). Получив обоснование в философии позитивизма, сциентизм привел мир к техногенной цивилизации со всеми ее плюсами и минусами. Важнейшим достижением техногенной цивилизации явился технический прогресс, который основан на внедрении технологий, создаваемых на базе естествознания. Технический прогресс открыл небывалые возможности повышения уровня жизни людей. Однако в начале XX века стало ясно, что сама по себе наука не способна решить соци-

альные и человеческие проблемы и привести к всеобщему счастью. Стали отчетливо проявляться негативные тенденции научно-технического прогресса: интенсификация труда, утрата творческого характера труда и отчуждение человека от его результатов, конфликт человека и природы. Технократическая установка стимулировала потребительскую психологию и узкий рационализм, состоящий в достижении целей любой ценой, не считаясь с последствиями. Это привело к значительному снижению этических и эстетических показателей культуры. Главными негативными последствиями техногенной цивилизации явились отчуждение человека от природы, современное экологическое состояние планеты и опасность ядерной войны.

Еще в недалеком прошлом неразумное поведение человека по отношению к природе не оказывало на нее заметного влияния: спасали необъятность нетронутых территорий и природных сообществ, существенно меньшая численность населения и неразвитость промышленности. Сейчас ситуация в корне изменилась. Практически все пригодные для жизни места на Земле заселены, а побочные результаты хозяйственной деятельности человека угрожают существованию экосистем. Научно-технический прогресс, являющийся основой современной цивилизации, имеет оборотную сторону: он ведет к загрязнению окружающей среды, точнее, – к загрязнению биосферы. Произошедшие во второй половине XX века изменения параметров биосферы пока еще не привели к нарушению ее равновесия, однако обнаруженные тенденции являются весьма опасными. Если отношение человека к природе не изменится, это приведет к деградации биосферы, что поставит под вопрос существование человека как вида.

Назревающий конфликт между человеком и природой должен быть решен не путем возврата к дикому состоянию и не заменой естественной среды на искусственную, а путем сознательного, разумного управления природой. В этом важная роль принадлежит науке. К ее функциям как средства познания окружающей действительности и основы технического прогресса добавляется еще одна – наука должна выработать стратегию взаимоотношения Общества и Природы. В основе новой парадигмы должна лежать не ведущая в тупик идея «покорения» природы, а идея единства человека с природой. Отсутствие научного предвидения последствий неограниченной эксплуатации природных ресурсов может привести к катастрофе. Все живое на Земле составляет целостную систему, соединенную бесчисленным множеством связей – биосферу. По мысли В. И. Вернадского, рано или поздно биосфера должна превратиться в сферу разума – ноосферу [21]. Приведем в заключение слова великого натуралиста: «На определенном этапе развития человек вынужден взять на себя ответственность за дальнейшую эволюцию планеты, иначе у него не будет будущего».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ЧЕТВЕРТОМУ РАЗДЕЛУ

1. Фишер Д. Рождение Земли. М. : Мир, 1990.
2. Рудник В. А., Соботович Э. В. Ранняя история Земли. М. : Недра, 1984.
3. Короновский Н. В., Ясаманов Н. А. Геология. М. : Издат. центр «Академия», 2005.
4. Войткевич Г. В. Геологическая хронология Земли. М. : Наука, 1984.
5. Хаин В. Е., Михайлов А. Е. Общая геотектоника. М. : Недра, 1985.
6. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Глобальная эволюция Земли. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1991.
7. Хаин В. Е., Короновский Н. В., Ясаманов Н. А. Историческая геология. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1997.
8. Войткевич Г. В. Возникновение и развитие жизни на Земле. М. : Наука, 1988.
9. Ляпин Е. С. Динамика цивилизаций. СПб. : Нестор-История, 2007.
10. Джохансон Д., Иди М. Люси. Истоки рода человеческого. М. : Мир, 1984.
11. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л. : Гидрометеиздат, 1971.
12. Кармин А. С. Культурология. СПб. : Лань; Изд-во «Планета музыки», 2009.
13. Петросян Л. А., Захаров В. В. Введение в математическую экологию. Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1986.
14. Свирежев Ю. М. Математические модели в экологии // Число и мысль : сб. науч. тр. М. : Знание, 1982. Вып. 5. С. 16–55.
15. Камишилов М. М. Эволюция биосферы. М. : Наука, 1974.
16. Агесс П. Ключи от экологии. Л. : Гидрометеиздат, 1982.
17. Рагон М. Города будущего. М. : Мир, 1969.
18. Кондратьев К. Я. Лучистый теплообмен в атмосфере. Л. : Гидрометеиздат, 1956.
19. Лосев К. С. Климат : вчера, сегодня... и завтра? Л. : Гидрометеиздат, 1985.
20. Гуцин Г. П. О теории озонной дыры // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. С. 583–597.
21. Баландин Р. Вернадский : жизнь, мысль, бессмертие. М. : Знание, 1979.

Раздел пятый

**Современные концепции
происхождения, развития
и сущности жизни**

Тема 23. Планетарные предпосылки зарождения и развития жизни

Основные вопросы:

- 23.1. Условия астрономического характера, необходимые для существования жизни на планете.*
- 23.2. Роль воды и гидросферы для развития жизни.*
- 23.3. Субстрат жизни.*
- 23.4. О возможности существования жизни на другой химической основе. Внеземные цивилизации.*

23.1. Условия астрономического характера, необходимые для существования жизни на планете

В космических масштабах планеты – всего лишь песчинки, играющие незначительную роль в грандиозной картине эволюции природы. Вместе с тем, планеты являются наиболее разнообразными и сложными объектами Вселенной. Ни у одного из других типов небесных тел нет подобного взаимодействия астрономических, геологических, химических и биологических процессов. Большинство современных ученых считает, что жизнь – в том виде, в котором мы ее знаем, – может зародиться только на планетах.

Однако не на всякой планете может существовать жизнь. Необходимые для этого условия имеют вид некоторых ограничений на параметры планеты. Перечислим эти ограничения [1].

Ограничения по массе. Жизнь не может развиваться на планете малой массы (типа Меркурия или Луны): если масса небесного тела мала, то оно не способно удержать атмосферу, необходимую для жизни.

Другая крайность – планета слишком большой массы. Если масса планеты превышает $1/20$ массы Солнца, то на ней начинаются ядерные реакции, ведущие к её разогреву до температур, при которых жизнь невозможна. Даже планета с массой более $1/1000$ солнечной массы непригодна для жизни, так как её атмосфера является очень плотной и лучи Солнца не могут пробиться сквозь неё (таковы Юпитер, Сатурн и другие гиганты

Солнечной системы). Из планет Солнечной системы массу, годную для развития жизни, имеют, кроме Земли, Венера и Марс. По мнению астрофизика В. Г. Фесенкова, во Вселенной около 1% планет имеют массу, подходящую для жизни.

Ограничения по температуре. Если принять предположение о том, что жизнь должна быть основана на химии углерода, то сразу устанавливаются предельные условия для любой среды, в которой жизнь может существовать. В частности, температура среды не должна превышать некоторого предела – предела стабильности органических молекул. Например, аминокислоты – составляющие белков – быстро разрушаются при температуре, превышающей 250°C . Реальный температурный предел жизни наверняка должен быть значительно ниже указанного, так как большие молекулы со сложной трёхмерной структурой более чувствительны к нагреванию, чем малые. Для жизни на поверхности Земли верхний температурный предел близок к 100°C (отметим, что в последние годы обнаружены так называемые *гипертермофилы* – микробы, живущие в воде, температура которой превышает 80°C).

Также неблагоприятны для развития жизни и слишком низкие температуры. Следует иметь в виду, что для жизнедеятельности организмов значительно опаснее очень высокие температуры, чем очень низкие. Например, простейшие виды вирусов и бактерий могут находиться в состоянии анабиоза при температуре, близкой к абсолютному нулю.

Температура на поверхности планеты в основном определяется двумя параметрами: светимостью родительской звезды и расстоянием до неё. Для каждой звезды можно выделить некоторую область, за границу которой не должны выходить орбиты планет, чтобы температурные условия на них допускали существование жизни, – так называемую *зону жизни*. Если планета подходит к родительской звезде ближе границы зоны жизни, то температура на её поверхности будет слишком высокой для существования жизни, а если дальше границы – то слишком низкой. Иллюстрацией к первому случаю может служить Меркурий (для него температура обращённой к Солнцу стороны превышает температуру плавления свинца), а ко второму – Уран и Нептун (температура поверхности которых ниже минус 200°C). Для Солнца в его зоне жизни находятся, кроме Земли, ещё две планеты – Венера и Марс. Орбита Земли близка к середине зоны жизни.

У звёзд-карликов зона жизни неширока и находится недалеко от звезды, поэтому вероятность того, что при случайном формировании планет какая-нибудь из них попадёт в эту область, весьма мала. У звёзд большой массы и высокой светимости зона жизни находится далеко от звезды и довольно обширна. Однако такие звёзды обладают небольшой продолжительностью существования, поэтому трудно ожидать появления на их планетах высокоорганизованных форм жизни.

Вообще, температурные условия на планете, а значит, и условия развития жизни на ней чрезвычайно чувствительны к расстоянию до центральной звезды. Расчёты показывают, что если бы Земля находилась ближе к Солнцу на 8 млн км, то процесс конденсации воды из атмосферы не мог бы осуществиться. Тогда не могло бы произойти и образование океанов, в которых появились первые формы жизни. С другой стороны, если бы Земля находилась дальше от Солнца всего на 2 млн км, то на ней происходили бы интенсивные процессы образования ледников, что сделало бы невозможным развитие высших форм жизни. Комфортную зону, в которой на такой планете, как Земля, вода может существовать сразу в трех состояниях – жидком, твердом и газообразном, – представляет очень узкая полоса. Ее ширина составляет всего 6% расстояния от Земли до Солнца.

Ограничения по форме траектории. Согласно первому закону Кеплера все планеты движутся по эллипсам. Если эллипс сильно вытянут (т.е. имеет большой эксцентриситет), тогда планета то подходит близко к своей звезде, то удаляется от неё. В результате на поверхности планеты возникают большие колебания температуры, что губительно отражается на живых организмах. Идеальный случай – когда планета вращается практически по круговой орбите, т.е. когда эксцентриситет эллиптической орбиты близок к нулю. В этом случае больших перепадов температуры на поверхности планеты не происходит. Кроме того, круговая орбита обеспечивает относительное постоянство радиации, получаемой планетой от центральной звезды. (Напомним, что эксцентриситет земной орбиты равен 0,017, то есть земная орбита близка к круговой).

Ограничения по возрасту. Жизнь на Земле развивалась более 3,5 млрд лет, причём первые 3 млрд лет темп жизни был очень низким. Организмы с высоким уровнем организации появились лишь в последние 0,5 – 0,6 млрд лет. Поэтому можно ожидать присутствия высокоорганизованных форм жизни только на планетах, обращающихся вокруг достаточно «старых» звёзд.

Американский астрофизик, китаец по происхождению, Су-Шу Хуанг считает, что наиболее пригодны для жизни планеты, обращающиеся вокруг звёзд главной последовательности, спектральный класс которых находится между $F0$ и $K5$ (см. тему 14, вопрос 1). Причём годятся не любые из них, а только звёзды второго поколения, богатые теми химическими элементами, которые необходимы для биосинтеза – углеродом, кислородом, азотом, серой, фосфором.

В заключение данного вопроса следует подчеркнуть, что баланс астрономических условий, определяющих коридор существования жизни на планете, является настолько жестким, что их совмещение в одном месте – на планете Земля – производит ощущение чуда. Создается впечатление, что Вселенная «подстраивала» свои параметры для создания благоприят-

ных возможностей жизни на Земле. Это, конечно, не так. Не Вселенная подстраивалась к жизни, а, наоборот, жизнь подстраивалась под те условия Вселенной, которые формировались в течение миллионов лет в ходе эволюции огромного комплекса, включающего в себя поверхность Земли, ее оболочки, Солнечную систему и весь космос.

23.2. Роль воды и гидросферы для развития жизни

Вода играет исключительно важную роль на всех этапах развития жизни, начиная от её зарождения. Высокое процентное содержание воды в живых организмах (у взрослого человека вода составляет 60% от массы тела, у мышцы – 73%, у бактерий – около 80%, у кишечнорастворимых – более 98%) свидетельствует об её основополагающем значении в жизнедеятельности организмов. У высших животных особенно высок процент содержания воды в интенсивно функционирующих органах; например, скелет содержит 22% воды, мышцы – 77%, сердце – 79%, кора больших полушарий головного мозга – 83% [2]. Особое значение вода имеет как растворитель и переносчик питательных веществ. С помощью воды осуществляется транспортировка веществ внутри организма, и с водой выделяются продукты распада.

Органический обмен веществ, состоящий в поглощении питательных веществ, их перестройке и выделении продуктов метаболизма, имеет своим прообразом обмен в неорганической среде, осуществляющийся, как и в организмах, с помощью воды. Водная оболочка Земли – *гидросфера* – представляет собой целостную систему, состоящую из океанов, морей и континентальных водных бассейнов. Гидросфера находится в постоянном взаимодействии с атмосферой, земной корой и биосферой. Воды гидросферы при испарении попадают в атмосферу и выпадают в виде осадков, которые проникают в горные породы, способствуя их разрушению; разрушенные обломки сносятся текучими водами в реки, попадая затем в моря, океаны или замкнутые континентальные водоёмы. Так происходит круговорот неорганических веществ на Земле – он осуществляется при помощи воды.

Значение воды в жизнедеятельности организмов определяется рядом её уникальных физических свойств. Так, практическая несжимаемость воды позволяет организмам населять глубины морей и океанов. Температурная аномалия воды – расширение перед замерзанием – и аномальное изменение плотности обеспечивают перемешивание водных масс и препятствуют промерзанию водоёмов. Благодаря этому обстоятельству жизнь сохраняется в водоёмах и зимой. Ввиду оптических особенностей воды, её прозрачности, на значительных глубинах в воде может идти фотосинтез. Свойства воды как растворителя в сочетании с исключительной подвиж-

ностью превращает воду в основной фактор обмена веществ в неживой и живой природе. Без этих свойств воды не мог бы существовать планктон и неподвижные организмы, в частности, высшие растения. Высокое поверхностное натяжение воды обеспечивает движение растворов по мелким сосудам (капиллярам) у животных и растений.

Мировой океан является регулятором теплового режима Земли. Это связано с ещё одной уникальной особенностью воды – её очень высокой удельной теплоёмкостью. Благодаря этому мировой океан является хранилищем солнечной энергии и в то же время гигантским термостатом, сглаживающим суточные и сезонные колебания температуры. В результате взаимодействия воздушных масс атмосферы с мировым океаном происходит выравнивание температуры над всей поверхностью Земли.

В заключение данного вопроса остановимся на тех особенностях океана, которые способствовали зарождению в нём жизни. Благодаря высокой теплоёмкости и низкой теплопроводности воды обеспечивается относительное постоянство температуры океанов (суточные колебания температуры над поверхностью океана не превышают 1°C , а годовые – 10°C). Воды океана обладают весьма устойчивым составом минеральных солей, постоянной концентрацией водородных ионов, постоянным осмотическим давлением и подвижностью, которая обеспечивает перенос питательных веществ и их разнообразие.

Таким образом, по постоянству физических условий, богатству и разнообразию источников питания океан представляет собой идеальную среду для зарождения и развития жизни.

23.3. Субстрат жизни

Основные химические элементы образовались в недрах звёзд. Из этих же элементов состоит Земля и все существующие на ней тела неживой и живой природы. В табл. 2 указан состав звёзд, Солнца, растений и животных [3, с. 113].

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.*

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	0,15	0,254
Сера (S)				
Железо (Fe)				
Другие элементы	0,001	0,04	7,49	3,696

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, алюми-

ний, 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 B_{12} ; молибден, марганец и ванадий необходимы для образования ферментов.

Включение в состав живых организмов не только самых распространенных 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).

23.4. О возможности существования жизни на другой химической основе. Внеземные цивилизации

Может ли жизнь существовать на другой химической основе, отличной от земной? В последние годы этот вопрос активно обсуждается в литературе (особенно, популярной). В частности, рассматривается проблема замены углерода кремнием, а воды – аммиаком. Аммиак входит в состав атмосферы некоторых планет. Кремний достаточно распространен в космосе, причём его атомы, подобно углероду, способны соединяться в длинные цепи. Однако по своим физико-химическим характеристикам такая замена получается неравноценной: кремний, в отличие от углерода, не способен к образованию кратных связей; соединение углерода с кислородом – углекислота CO_2 – легко растворимый в воде газ, который используется организмами и легко выделяется в процессе обмена, а двуокись силиция – кварц – очень плотный инертный минерал, не способный к активным реакциям. Кроме того, длинные цепи, образуемые атомами кремния, являются неустойчивыми в присутствии воды, кислорода и аммиака. В то же время, именно богатство и сложность боковых ответвлений в молекулярных цепочках углеродных соединений обеспечивают огромное разнообразие свойств белковых веществ, а также исключительную «информативность» молекул нуклеиновых кислот, что служит необходимой предпосылкой возникновения и развития жизни (см. [1]).

Следует отметить также, что на Земле содержание кремния более чем в 100 раз превышает содержание углерода. Поэтому, если можно было бы использовать в качестве химической основы жизни кремний вместо углерода, природа не упустила бы этой возможности. Этот косвенный аргумент указывает на предпочтительность углерода перед кремнием.

Большие сложности возникают и при замене воды аммиаком. Аммиак менее стабилен, чем вода, но всё же достаточно устойчив и в принципе способен быть биологическим растворителем. Однако он не может накап-

ливаться на поверхности планет, так как разрушается ультрафиолетовым излучением. При разрушении аммиака образуется водород, который улетучивается с планеты в космическое пространство. Существуют и другие «кандидаты» на роль биологических растворителей, например фтористоводородная (плавиковая) кислота HF и цианистый водород HCN (синильная кислота). Но и здесь есть свои возражения. Фтор относится к редким элементам: во Вселенной на один атом фтора приходится 10 000 атомов кислорода. Поэтому маловероятно существование планеты, на которой были бы океаны, состоящие из HF, а не из H₂O. Соединение HCN термодинамически и химически неустойчиво, поэтому его накапливание на планете вряд ли возможно. Ни один из неводных растворителей не обладает уникальными свойствами воды (см. вопрос 23.2), столь необходимыми для зарождения и развития жизни. Итак, в настоящее время биологи весьма скептически оценивают возможность существования жизни на химической основе, отличной от земной.

При обсуждении проблемы жизни на других планетах исключительно важное значение приобретает вопрос определения понятия «жизнь». На это обстоятельство особое внимание обращал выдающийся математик XX века Андрей Николаевич Колмогоров. Он подчёркивал, что до последнего времени биологические науки занимались исследованием живых существ, обитающих на Земле и имеющих общую историю возникновения и развития жизни. Поэтому жизнь отождествлялась с её конкретным воплощением в конкретных условиях планеты Земля.

В наше время имеется уже практическая возможность обнаружения в космосе таких форм движения материи, которые обладают важнейшими атрибутами живых (или даже мыслящих) существ. При этом конкретные проявления этих форм движения материи могут быть весьма непохожими на те, которые мы встречаем в земных условиях. Поэтому возникает настоятельная потребность в определении сущности жизни вне связи с конкретными физико-химическими процессами, на которых базируется жизнь. Пока этого не сделано. Прорывом здесь послужило бы обнаружение внеземных форм жизни. Однако многочисленные попытки, предпринятые в этом направлении в последние десятилетия, к успеху не привели.

Еще более сложным, чем существование жизни на других планетах, является вопрос существования внеземных цивилизаций. Первая формула для подсчета числа цивилизаций в нашей Галактике была предложена американским радиоастрономом Френсисом Дрейком. Эта формула носит эмпирический характер и задает число цивилизаций в виде произведения следующих параметров:

R – общее число звезд в Галактике;

P – вероятность существования у звезды планетной системы;

E – вероятность возникновения жизни на планете;

I – вероятность появления разумных существ в процессе развития жизни;

C – вероятность создания цивилизации (в нашем понимании);

T – отношение средней продолжительности жизни цивилизаций к возрасту Галактики.

Для всех этих параметров в настоящее время имеются лишь экспертные оценки, по большинству из которых ведутся ожесточенные споры. Особенно проблематичными являются оценки для параметров E, I, T .

Современные астрономические наблюдения показывают, что у многих звезд нашей Галактики существуют планетные системы – в течение последних полутора десятилетий планеты были открыты у пяти десятков звезд солнечного типа. В настоящее время оценка параметра P колеблется в пределах от 0,01 до 0,1; это означает, что число звезд Галактики, имеющих планетные системы, может достигать нескольких миллиардов. Таким образом, новейшие данные наблюдательной астрономии свидетельствуют, что первое необходимое условие существования жизни вне Земли выполнено. Почему же до настоящего времени, несмотря на тщательные поиски и возросшую мощь наблюдательных средств не обнаружено никаких сигналов внеземных цивилизаций? Отечественный астрофизик И.С. Шкловский считает, что, скорее всего, земная цивилизация является уникальной и единственной не только в нашей Галактике, но и во всей Вселенной. Шкловский выдвигает две основных причины «молчания Космоса»: либо условия зарождения жизни (а тем более, разумной жизни) чрезвычайно специфичны и крайне редко реализуются на планетах Вселенной, либо при достаточной распространенности жизни во Вселенной время существования разумных форм жизни является относительно коротким и в этом случае вероятность *одновременного* существования цивилизаций в разных частях Вселенной практически равна нулю.

В заключение данной темы рассмотрим вопрос – возможно ли в принципе существование жизни не на планетах, а на других космических телах? На Бюраканском симпозиуме 1971 г, посвященном различным аспектам внеземных цивилизаций, вполне серьезно обсуждался вопрос о возможности возникновения жизни в атмосферах холодных звезд.

Необходимо иметь в виду, что межзвездная среда содержит весь набор химических элементов, и в ней протекают процессы образования молекул, сложность которых может возрасти до достаточно высоких уровней. Причиной соединения атомов в молекулы является одна из фундаментальных сил природы – электромагнитные взаимодействия, дальность которых ничем не ограничена. Хотя концентрация вещества в межзвездной среде ничтожно мала, в ней встречаются молекулы водорода, пылинки, кристаллики льда или углерода с примесью гидратов разных соединений. Молекулярный водород вместе с гелием образует газовые межзвездные

облака. Но самое интересное, что в космосе было обнаружено неожиданно большое присутствие разнообразных органических молекул, вплоть до таких сложных, как молекулы аминокислот. Органические молекулы находят во внешних оболочках некоторых не очень горячих звезд и в межзвездных областях, температура которых незначительно отличается от абсолютного нуля. Способно ли усложнение вещества достичь высоких уровней в межзвездной среде или в оболочках холодных звезд? Возможно ли там возникновение жизни? Эти вопросы обсуждаются сейчас учеными.

А известный астрофизик Дайсон выдвинул идею о том, что пристанищем жизни могут быть не планеты, а кометы (число которых на много порядков превышает число звёзд и планет). Возникают и совсем экстравагантные идеи – о существовании жизни на ядерном уровне или наличии обитаемых миров, которые для внешнего наблюдателя выглядят как элементарные частицы. Пока эти идеи кажутся фантастическими, хотя некоторые из них не противоречат законам физики.

Тема 24. Жизнь как космический феномен

Основные вопросы:

24.1. Космический характер процессов развития жизни.

24.2. Временная и пространственная упорядоченность мира.

24.3. Циклы и ритмы живой природы.

24.1. 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 него 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. Потoki излучений далёких галактик могут быть достаточно мощными. Так, галактика Лебедь А 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. В своих исследованиях Вернадский выдвинул крупнейшие, представляющие большое практическое значение научные проблемы: строения силикатов, поисков радиоактивных минералов, роли организмов в геохимических процессах, определения абсолютного возраста горных пород и др. Много внимания В. И. Вернадский уделял изучению химического состава земной коры, океана и атмосферы. 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 годовых 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.

24.2. 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 матери-

альная 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. 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 [4]. 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 (см. [4]).

Упорядоченность различных процессов во времени сочетается с их упорядоченностью в пространстве. Наиболее распространенной формой пространственной упорядоченности является *симметрия* (симметрия атомов, молекул, кристаллов, снежинок, живых организмов, галактик). Про-

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 преобразований 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, обращаясь 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.

Важный физический принцип, объясняющий пространственную упорядоченность мира, состоит в том, что природные 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 пе-

риодическое 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 координатной осью (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. 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.

24.3. Циклы и ритмы живой природы

Остановимся более подробно на живых системах – биосистемах. 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 [5].

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 приспособливает к ним свои ритмы и всё своё поведение. Главнейший цикл для живого организма – тот, который включает рождение, созревание, воспроизведение, старение 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:

- 1) ритмы, действующие в антропоной шкале времени (суточные, месячные, сезонные, годовые);
- 2) ритмы, действующие в геологической шкале времени (исчисляются десятками и сотнями тысяч лет);
- 3) 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 происхо-

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

Тема 25. Концепции возникновения жизни на Земле

Основные вопросы:

25.1. *Основные гипотезы возникновения жизни.*

25.2. *Креационизм.*

25.3. *Гипотеза самопроизвольного зарождения жизни.*

25.4. *Гипотеза панспермии.*

25.5. *Эволюционная теория.*

25.1. Основные гипотезы возникновения жизни

Одной из важнейших проблем естествознания является проблема происхождения жизни. Многовековые попытки решения этой проблемы привели к разным концепциям (или гипотезам) возникновения жизни, основными из которых являются следующие: *креационизм* (создание жизни сверхъестественными силами); концепция *самопроизвольного зарождения жизни* из неживой материи; *гипотеза панспермии* (внеземного происхождения жизни); *эволюционная теория* (теория *биохимической и биологической эволюции*). Имеются и другие гипотезы, например, гипотеза *стационарного состояния*, в соответствии с которой жизнь во Вселенной существовала всегда. В этом случае вопрос о возникновении жизни не возникает. Всякая гипотеза возникновения жизни может считаться научной лишь в том случае, когда она объясняет причины, выявляет движущие силы и закономерности появления и развития жизни.

В XIX веке в биологии возникли две концепции: механистического материализма и витализма – вершина биологической науки того времени, – между которыми происходила ожесточенная борьба идей о происхождении и сущности жизни. Механистический материализм не признавал качественной специфики живых организмов и представлял жизненные процессы как результат действия химических и физических процессов. С этой

точки зрения живые организмы выглядели как сложные машины. Но аналогия между живым существом и машиной не объясняет самого главного: причину целесообразной организации живых существ. Ведь целесообразность живых организмов, поразительная приспособленность их строения к выполнению определенных функций не может быть выведена из закономерностей неорганического мира. В силу этого механицизм и его более поздняя разновидность – редукционизм (старавшийся свести явления жизни к химическим и физическим процессам), не могли решить проблему происхождения жизни. На противоположных позициях стоял *витализм* (от лат. *vitalis* – жизненный), объясняющий качественное отличие живого от неживого наличием в живых организмах особой «жизненной силы», которая отсутствует в неживых предметах и не подчиняется физическим законам.

Гипотезы возникновения жизни относятся к разряду тех проблем, которые волновали человечество на протяжении всей его истории. Вопросы, связанные с сущностью жизни, затрагивали не только ученые-естественники, но также философы, писатели, религиозные и общественные деятели. По причинам, изложенным в теме 24, практически все современные гипотезы связывают феномен возникновения жизни на Земле с космосом. Однако спектр возможностей здесь исключительно широк.

Например, одна из таких гипотез, принадлежащих современному астрофизику Ф. Хойлу, основана на существовании микроорганизмов в межзвездном пространстве. Согласно его представлениям, облака космической пыли состоят преимущественно из бактерий и спор. Хойл предположил, что 4,6–3,8 млрд лет назад произошел занос микроорганизмов на Землю из облаков космического пространства, послуживший началом развития жизни.

Дадим краткую характеристику указанным выше концепциям возникновения жизни.

25.2. Креационизм

Согласно этой гипотезе (название происходит от лат. *creatio* – творение, создание), жизнь создана сверхъестественными силами. Примитивные формы веры в нереальные, сверхъестественные силы, возникшие в первобытных обществах 35–40 тыс. лет назад, преобразовались в религии. В основе монотеистических религий (иудаизм, христианство, ислам) лежит вера в существование высшего существа – Бога, создавшего мир и управляющего им. По религиозным воззрениям природа создана Богом в законченном, совершенном виде. Религиозная картина мира лишена развития, она статична: в ней сразу появляется мир, а также человек, все животные и растения. Характерно, что во всех религиях Вселенная имеет неправдопо-

добно маленький возраст (порядка нескольких тысяч лет). Например, библейская дата сотворения Земли – 4004 г. до н.э. (она была получена епископом Ашером в 1654 г. суммированием возрастов всех поколений патриархов, приведенных в Библии, с добавлением периода истории, для которого имелись письменные источники). Вплоть до середины XVIII века большинство просвещенных людей верило в правильность этой даты – хотя бы по порядку величины. Еще в последней четверти XVIII века французский геолог Жорж Луи Леклерк оценивал возраст Земли лишь в 75 тыс. лет. Первые противоречия с данными науки появились в связи с исследованиями шотландского геолога и врача Джеймса Хаттона. В 1785 г. он установил, что Земля сформировалась в результате физических, химических и геологических процессов, медленно действовавших в течение очень длительного периода времени. Позднее геологи пришли к выводу, что для накопления осадочных пород требуются миллионы лет. Появившаяся в середине XIX в. теория происхождения и эволюции видов Чарльза Дарвина (1859) также оказалась несовместимой с библейской временной шкалой: за столь короткий промежуток времени виды не успели бы сформироваться. В начале XX в. отдельные геологи на основании изучения мощности известных в то время осадочных пород довели возраст Земли до 100 млн лет. Выдающийся физик второй половины XIX – начала XX в. лорд Кельвин определил возраст Земли в несколько десятков миллионов лет, допуская, что эта цифра может быть увеличена до 400 млн лет. В 1907 г. ученик Резерфорда Б. Болтвуд, определяя возраст радиоактивных минералов по наличию в них свинца радиоактивного происхождения, получил совершенно фантастическое для того времени значение возраста минералов, превышающее 1 млрд лет. Только в середине XX столетия, благодаря широкому использованию радиоизотопных методов датирования, устанавливается достоверная хронологическая шкала событий в геологической истории Земли (см. вопрос 18.4).

Так как все религиозные догмы являются постулатами, их бессмысленно обсуждать, оспаривать, опровергать или требовать каких-либо доказательств. Ответ на все вопросы изумительно прост: «Так сотворил Бог». Процесс божественного сотворения мира мыслится как происходивший лишь единожды и потому недоступный для наблюдателя. Наука же занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению. Поэтому религиозная и научная картины мира в корне расходятся. Любопытно отметить, что время от времени происходит «подстройка» религиозной картины мира под научную с учётом научных достижений и открытий.

Так, в 1951 г. папа Пий XII в речи «Доказательства бытия Бога в свете современного естествознания», произнесенной перед Ватиканской Академией наук, модернизировал библейскую легенду о сотворении мира. Он отнес акт творения к периоду 5 – 10 миллиардов лет назад, отметив при

этом, что мир возник в виде расширяющейся Вселенной. Но так как «произошло сотворение мира во времени, то потому есть и творец, следовательно, есть Бог». А в 1996 г. папа Иоанн Павел II в своем Апостольском послании заявил, что католическая церковь признает справедливость эволюционной теории развития жизни. Церковь теперь допускает, что тело человека сформировалось путем эволюции, хотя по-прежнему считает, что душа привнесена в него Богом.

Феномен жизни на Земле связан с осуществлением большого числа событий, имеющих исчезающе малую вероятность. Поэтому мысль о том, что земная жизнь появилась в результате сознательного акта творения со стороны «высших сил» пробивает себе дорогу и в наше время, в том числе и в научных кругах.

- Один из крупнейших философов современного исламского мира Аднан Окта (известный также под псевдонимом Харун Яхья) в серии своих книг систематизировал разнообразные примеры, свидетельствующие, по его мнению, о создании Вселенной и сотворении жизни на Земле (см. Харун Яхья. Сотворение Вселенной; Великий замысел в природе и др. / пер. с турец. М.: Издат. дом «Анкар», 2002)

25.3. Гипотеза самопроизвольного зарождения жизни

Концепция самопроизвольного (спонтанного) зарождения жизни была распространена в древнем Китае, Вавилоне, Египте в качестве альтернативы креационизму, с которым она сосуществовала. По этой концепции всё живое происходит из неживого: рыбы – из ила, черви – из почвы, мухи – из гнилого мяса и т.п. Этих же воззрений придерживался Аристотель, развив их дальше. Согласно Аристотелю, определённые частицы вещества содержат «активное начало», которое при подходящих условиях может создать живой организм. Связывая все живые организмы в непрерывный ряд – «лестницу природы», Аристотель не сомневался в самозарождении лягушек, мышей, не говоря уже о более мелких животных.

Идеи самозарождения получили широкое распространение в Средневековье и в эпоху Возрождения, когда допускалась возможность самозарождения не только простых, но и довольно высокоорганизованных существ. Известны попытки швейцарского врача Парацельса разработать рецепт создания искусственного человека (гомункулуса). Еще в XVII веке голландский учёный Ван Гельмонт, занимающийся вопросами питания растений, утверждал, что мышцы могут быть получены из пшеницы и загрязнённого белья. Основоположник индуктивного метода Френсис Бэкон пишет о самозарождении мелких животных в гниющих веществах. Бэкон считал, что гниение есть зачаток нового рождения. В XVIII веке теорию самозарождения жизни продолжал защищать Лейбниц. Он утверждал, что в живых организмах существует особая живая субстанция («жизненная си-

ла»), и когда она внедряется в неживое, оно превращается в живое. Сторонников этой гипотезы называют *виталистами* (от лат. *vitalis* – жизненный). В XIX веке выдающийся биолог Ж.-Б. Ламарк писал о возможности самозарождения грибков. Идею самопроизвольного самозарождения живого их неживого разделяли такие выдающиеся мыслители, как Р. Декарт, Г. Галилей, Г. Гегель.

Перелом в этих представлениях произошёл со второй половины XVII века, когда флорентийский врач Франческо Реди в 1668 г. обнаружил, что развивающиеся в гнилом мясе белые черви возникают из личинок мух. Проведя ряд экспериментов, он пришёл к выводу, что жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни. Однако эти эксперименты сразу не привели к отказу от мысли о самозарождении жизни. Более того, идеи самозарождения вновь усилились после изобретения микроскопа Ван Левенгуком: теория самозарождения была перенесена на микроорганизмы. С появлением в 1859 г. книги Дарвина «Происхождение видов» вновь встал вопрос о том, как возникла жизнь на Земле. Французская Академия наук назначила специальную премию за освещение вопроса о самопроизвольном зарождении жизни. Эту премию в 1862 г. получил французский учёный Луи Пастер, который произвёл следующий эксперимент: он прокипятил в колбе питательный раствор, в котором могли развиваться микроорганизмы. При длительном кипячении раствора погибали не только микроорганизмы, но также их споры. Помня об аргументах виталистов, что «жизненная сила» не может проникнуть в закрытую колбу, Пастер не стал её запечатывать, а присоединил к ней S-образную трубку со свободным концом. Споры микроорганизмов оседали на поверхности изогнутой трубки и не могли проникнуть в питательную среду, хотя доступу воздуха (а вместе с ним и пресловутой «жизненной силы») ничто не препятствовало. Хорошо прокипяченная питательная среда оставалась стерильной, и зарождения микроорганизмов в ней не наблюдалось.

Таким образом, опыты Пастера окончательно доказали, что в современных условиях живое возникает только от живого (концепция *биогенеза*). Однако они не давали ответа на главный вопрос – откуда взялась жизнь?

25.4. Гипотеза панспермии

Данная гипотеза состоит в том, что жизнь пришла на Землю из космоса. В качестве «семян жизни» согласно гипотезе панспермии выступают споры микроорганизмов, которые были занесены на Землю вместе с метеоритами и космической пылью. Такие споры могут в течение длительного времени выносить холод космического пространства, для них не

страшен царящий там высокий вакуум. Попадая в благоприятные условия на какое-либо небесное тело, споры оживают и дают начало жизни на ней.

Гипотеза панспермии была высказана немецким учёным Г. Рихтером в конце XIX века. Её разделяли крупные учёные конца XIX – начала XX века: Ю. Либих, У. Кельвин, Г. Гельмгольц, С. Аррениус и др. После открытия русским физиком П. Н. Лебедевым (1866–1912) эффекта светового давления гипотеза панспермии получила дополнительный импульс – возможность переноса спор не с помощью метеоритов, которые раскаляются при попадании в атмосферу, а благодаря световому давлению. Под действием светового давления споры осуществляют грандиозные космические путешествия – от планеты к планете, от звезды к звезде.

Гипотеза панспермии имеет два аспекта – биологический и философский.

Биологический аспект связан с вопросом – могут ли споры «вынести» столь длительное путешествие, не потеряв своей жизнеспособности?

Попытка такого анализа была сделана современным американским биофизиком К. Саганом. Согласно расчётам Сагана, споры, выброшенные из Земли, могут достигнуть орбиты Марса за несколько недель, орбиты Нептуна – за несколько лет, а до ближайших к нам звезд они долетят за несколько десятков тысяч лет. Чтобы пересечь Галактику, им потребуется несколько сотен миллионов лет, а может быть и больше (см. [1]). Путешествующие по космическим просторам споры подвергаются большим опасностям. В первую очередь, это – радиация. В пределах планетных систем основная опасность – ультрафиолетовое излучение центральной звезды с длиной волны меньше 0,3 мкм, губительное для микроорганизмов. Однако если спора «путешествует» на каком-либо небесном теле, то, попав в расщелину, она окажется защищённой от губительного ультрафиолетового излучения. Большую опасность для блуждающих в межзвёздном пространстве спор представляют горячие звёзды, которые на огромных расстояниях, исчисляемых сотнями световых лет, ионизируют и сильно нагревают межзвёздный газ. В таких областях космические пылинки и содержащиеся в них споры могут быть полностью разрушены. Английский биофизик Френсис Крик (один из открывателей генетического кода) и американский учёный Лесли Оргелл приводят два чисто биологических аргумента в пользу гипотезы «направленной панспермии». Первый аргумент – наличие в составе организмов элементов, которые являются исключительно редкими на Земле (например, молибдена). В то же время известны звёзды с аномально высоким содержанием молибдена. Логично предположить, считают Крик и Оргелл, что планеты, входящие в эти звёздные системы, и являются «плантациями» микроорганизмов, занесённых на Землю. Однако через год после выхода статьи Крика и Оргелла о «направленной панспермии» появилась статья японского учёного Ф. Егани, в которой были опубли-

ликованы данные о содержании металлов в составе Земли. Суммарное содержание молибдена на Земле оказалось действительно очень низким, но его процентное содержание в морской воде вдвое выше, чем хрома. Относительно высокое содержание молибдена в морской воде согласуется с точкой зрения возникновения жизни на Земле в первичном океане.

Второй аргумент в пользу гипотезы «направленной панспермии» – *универсальность генетического кода* – состоит в том, что все живущие на Земле организмы от простейших до человека используют один и тот же генетический код. Если принять гипотезу, что жизнь на Земле занесена из космоса, то этим легко объясняется и единый механизм передачи наследственных признаков у всех живых организмов. В случае же предположения, что жизнь возникла на Земле самостоятельно и одновременно в разных местах, непонятно – как сформировался единый для всех земных организмов генетический код. Один из вариантов объяснения этого феномена – борьба за существование организмов с разными генетическими кодами, в результате которой остаются те организмы, генетический код которых оказался «самым удачным».

Против гипотезы панспермии говорит тот факт, что все попытки обнаружить в космосе какие-либо формы жизни не дали положительных результатов: если бы «семена жизни» существовали и перемещались по Вселенной на большие расстояния, то почему бы им не «поселиться» на других космических телах?

Бытуют различные варианты гипотезы внеземного происхождения жизни. Например, посещение Земли в далёком прошлом некими разумными существами – обитателями тех планетных систем, на которых развитие жизни опередило наше на миллиарды лет. Им даже не обязательно было посещать Землю: они могли поместить в контейнер простейшие организмы и направить его с помощью ракеты на Землю, установив предварительно наличие на Земле подходящих условий для жизни.

Философский аспект концепции панспермии состоит в том, что её принятие не решает проблемы происхождения жизни. Если жизнь была занесена на Землю из космоса, то остаётся главный вопрос: *как она появилась там?* «Всё-таки жизнь – пишет академик А. И. Опарин – когда-то и где-то должна была возникнуть на эволюционном пути, а Земля, как показывают современные научные данные, была для этого вполне подходящим местом».

Суммируя все «за» и «против», можно сделать вывод, что гипотезу панспермии нельзя считать явно ошибочной, хотя доводов в её пользу недостаточно.

25.5. Эволюционная теория

Эволюционная теория зарождения и развития жизни на Земле базируется на том, что жизнь на Земле возникла в результате длительного периода эволюции материи, длившегося несколько миллиардов лет. Процесс эволюции шёл в направлении постепенного усложнения форм организации материи и привёл в итоге к тому разнообразию видов организмов, которое мы наблюдаем в настоящее время. Классическая картина эволюционного развития – медленное изменение видов в течение длительных геологических периодов, причем для превращения одного вида в другой требуется много миллионов лет.

Идея о том, что жизнь на Земле возникла не внезапно, а сформировалась в ходе эволюции материи, принадлежит Ф. Энгельсу. Эта же мысль высказывалась русским биологом К. А. Тимирязевым.

Теория эволюционного развития жизни на Земле впервые была разработана академиком А. И. Опариным (его книга «Происхождение жизни» была опубликована в 1924 г., в 1938 г. она была переведена на английский язык и возродила интерес к теории самозарождения жизни). Опарин предположил, что в растворах высокомолекулярных соединений могут *самопроизвольно* образовываться зоны повышенной концентрации, которые относительно отделены от внешней среды и могут поддерживать обмен с ней. Он назвал их *коацерватными каплями* или просто *коацерваты*. Исследования школы Опарина в этом направлении продолжались вплоть до 60-х годов XX века. Независимо от Опарина, эволюционную теорию жизни развивал английский биолог Джон Холдейн. В настоящее время эволюционная гипотеза является общепризнанной. Более того, она «пропитывает» всю биологию, лежит в её фундаменте и является «образом мышления». Только эволюционная теория придаёт ясный смысл несомненной взаимосвязи организмов, явлениям наследственности и путям развития жизни. Согласно эволюционной теории весь процесс развития жизни состоит из двух частей: вначале происходит биохимическая эволюция, а затем – собственно биологическая эволюция (см. [2]).

Механизм эволюции живого был выявлен Ч. Дарвиным в его работе «Происхождение видов» (1859) и получил название *естественного отбора*. Огромный фонд сходных генов, которые поставляют многочисленные организмы, дает природе возможность перепробовать различные варианты, пока не встретится благоприятная мутация. В дальнейшем в результате естественного отбора эта мутация закрепляется в генофонде поколений. Природа отбирает только те генетические возможности, которые дают организмам преимущество в их постоянной борьбе за выживание. Таким образом, сложная организация возникает спонтанно и не нуждается в заранее предписанном плане.

Хотя эволюционная концепция происхождения жизни считается доказанной, однако остаётся ряд сложных вопросов. Главная проблема – объяснение перехода от химической эволюции к биологической, т.е. объяснение превращения неживого в живое. По мнению большинства учёных, основная сложность здесь состоит в разгадке происхождения способа самовоспроизведения живых систем, т.е. образования механизма наследственности. Теория Опарина – Холдейна, предполагающая изначальное возникновение белков, не может объяснить их самовоспроизведения. Толчком к разработке современных взглядов на образование механизма наследственности послужило открытие так называемых *рибозимов* – молекул *РНК*, способных соединять в себе обе функции, которые в настоящих клетках выполняют по отдельности белки и *ДНК*: катализ биохимических реакций и хранение наследственной информации. В рамках этих представлений предполагается, что первые живые существа были *РНК*-организмами (без белков и *ДНК*), а их прообразом мог быть автокаталитический цикл, образованный рибозимами, способными катализировать синтез своих собственных копий.

Более подробно этапы химической и биологической эволюций обсуждаются в следующих темах.

Тема 26. Основные этапы биохимической эволюции. Зарождение жизни

Основные вопросы:

- 26.1. *Панорама первобытной Земли.
Этапы биохимической эволюции.*
- 26.2. *Абиогенный синтез и его опытное подтверждение.*
- 26.3. *Образование биополимеров. Возникновение биотического круговорота.*
- 26.4. *Гипотеза А. И. Опарина о коацерватной стадии развития жизни. Формирование отдельных организмов.*
- 26.5. *Современные концепции зарождения жизни.*

26.1. Панорама первобытной Земли. Этапы биохимической эволюции

Формирование Земли началось 4,6 млрд лет назад. Уже 4–3,8 млрд лет назад Земля имела твердое внутреннее ядро, жидкое внешнее ядро и мантию, окруженную тонкой земной корой. Сформировались атмосфера и гидросфера, однако по своему составу и внешнему виду они сильно отличались от того, что мы наблюдаем в настоящее время (см. вопрос 18.1).

Материки представляли собой поля застывшей лавы с очень неровной поверхностью. Из многочисленных трещин в разных местах со свистом вырывались пары и выделялись разные газы, в том числе ядовитые. Почвенный слой отсутствовал. Моря дымились, и вода в них была очень горячей. Первичная атмосфера Земли была насыщена углекислым газом и не содержала ни кислорода, ни азота. Панорама первобытной Земли – скалистые пустынные материки, огнедышащие вулканы, мощные грозовые разряды, вулканический дым и пепел, образующие почти непроницаемую для солнечных лучей завесу. С тех пор как поверхность Земли в зависимости от неравномерности затвердевания коры и прорывов магмы покрылась возвышенными областями, составившими материки, и понижениями, в которых скопились воды, создавшие моря, геологические «агенты» начали свою работу над преобразованием этой поверхности, которую знаменитый геолог Зюсс назвал «ликом Земли». Потоки воды сбегали с материков, размывая и перенося отложения песка и ила, из которых создавались первые осадочные породы. Первоначально океаны и моря были пресными – соль в них накапливалась постепенно в результате переноса минеральных веществ впадающими реками.

Не подлежит сомнению, что 4,5 млрд лет назад Земля была абсолютно безжизненной планетой. Но практически сразу после формирования земной коры началась биохимическая эволюция – эволюция материи в направлении жизни. Можно выделить следующие основные этапы биохимической эволюции.

Первый этап – синтез низкомолекулярных органических соединений (биологических мономеров) из газов первичной атмосферы. В результате этого этапа происходит образование органического вещества из неорганического чисто химическим путем (абиогенный синтез).

Второй этап – образование из мономеров высокомолекулярных белковых соединений (биополимеров). Этот этап заканчивается возникновением биотического круговорота.

Третий этап состоит в возникновении предбиологических систем – протобионтов, отделенных от внешней среды мембраной и имеющих кодовое соотношение между белками и нуклеиновыми кислотами.

Четвертый этап – возникновение простейших клеток, обладающих всеми свойствами живых организмов. Важнейшим из них является наличие механизма воспроизведения, обеспечивающего передачу свойств родительских клеток дочерним клеткам. Четвертый этап знаменует переход биохимической эволюции в биологическую.

Рассмотрим краткую характеристику этих этапов.

26.2. Абиогенный синтез и его опытное подтверждение

Абиогенный синтез органического вещества происходил в атмосфере первобытной Земли. Атмосфера Земли в тот период была не окислительной, а восстановительной; основными её составляющими были метан CH_4 , аммиак NH_3 , водород H_2 , углекислый газ CO_2 и пары воды H_2O . Атмосфера Земли подвергалась сильному воздействию со стороны Солнца (ультрафиолетовое излучение Солнца беспрепятственно достигало поверхности Земли, лишённой озонового экрана), а также воздействию грозových разрядов и вулканов. С физической точки зрения эти воздействия представляют собой мощный приток энергии, под влиянием которой из газов, составляющих атмосферу, происходило формирование простейших органических соединений (аминокислот, азотистых оснований, молекул сахаров, простых углеводов и других углеродосодержащих соединений). В дальнейшем из них создавались органические вещества – белки, жиры, нуклеиновые кислоты, а также вещества-переносчики энергии, например, аденозинтрифосфаты (АТФ).

Рассмотренный выше этап эволюции атмосферы подтверждён экспериментально. В 1953 г. в Чикагском университете американский биохимик Стенли Миллер и физик Гарольд Юри смоделировали условия, существовавшие в атмосфере первичной Земли. При пропускании искрового разряда через смесь метана, аммиака, водорода и воды они наблюдали возникновение ряда аминокислот (из которых построены белки). Таким образом, экспериментально было доказано, что абиогенный синтез органических веществ из неорганических возможен. Вслед за Юри и Миллером были получены сходные результаты с использованием других источников энергии: нагревание, бомбардировка β -частицами (электронами), облучение ультрафиолетовыми лучами. Это показывает, что специфика синтеза определяется не особенностями источника энергии, а составом реагирующего материала. Известно, что органические соединения легко разрушаются в химической реакции окисления (соединения с кислородом). Однако, ввиду отсутствия кислорода в восстановительной атмосфере первобытной Земли, этого не происходило. Более того, органические вещества гораздо легче синтезируются в восстановительной среде, чем в окислительной. В результате совместного действия всех этих факторов происходило постоянное увеличение количества органического вещества в атмосфере. Помимо этого, некоторые вещества, являющиеся строительными блоками для простейших органических соединений и содержащиеся в межзвездной пыли (формальдегид, цианид водорода, ацетилен-цианид и др.) попадали на поверхность Земли вместе с метеоритами. Вся эта масса органических веществ в течение сотен миллионов лет накапливалась на поверхности Земли и текучими водами смывалась в океан.

26.3. Образование биополимеров. Возникновение биотического круговорота

Простейшие органические соединения, образовавшиеся в атмосфере, поступали в океан. Это предотвращало их от распада под влиянием тех же источников энергии. Образование уже в океанической среде растворов и их постоянное перемешивание создавало возможности для дальнейших взаимодействий этих веществ между собой.

Американский биофизик К. Саган подсчитал, что органические вещества, полученные за счёт энергии ультрафиолетовых лучей из газов первичной атмосферы, способны создать в океане раствор 1% крепости (так называемый «1-процентный бульон»).

К числу дальнейших преобразований органических веществ в направлении жизни относится их полимеризация и образование биополимеров – белков и нуклеиновых кислот. Последние данные геохимии показывают, что в сплошной водной среде полимеризация произойти не может, так как для этого требуется высокая температура. Формирование биополимеров происходило, по-видимому, в пересыхающих морских лагунах под действием тепловой энергии Солнца. Образовавшиеся полимеры смывались волнами океана, обогащая первичный «бульон».

Как показал американский биохимик С. У. Фокс, при нагревании смеси низкомолекулярных соединений (из которых предположительно мог состоять «первичный бульон»), до 130° С происходит реакция полимеризации с образованием так называемых *протеноидов*, содержащих цепи до 200 аминокислот. Растворенные в воде, они обладают некоторыми важными свойствами белков современных организмов (в частности, содержат повторяющиеся последовательности аминокислотных остатков, обладают способностью к самосборке и даже могут катализировать некоторые химические реакции, как настоящие ферменты).

Важнейшей предпосылкой возникновения жизни явилось появление *биотического круговорота*. Что он собой представляет? Мы знаем о круговороте веществ в неживой природе – переносе с помощью воды минеральных элементов, их перемешивании, изменении агрегатного состояния (это так называемый *абиотический круговорот*, который совершается при помощи воды под действием энергии Солнца).

В биотическом круговороте решающую роль играют процессы создания (синтеза) одних органических веществ и разрушения (деструкции) других. Под действием солнечной радиации (которая в больших дозах является губительной, а в малых – стимулирует жизнедеятельность) происходил распад малоустойчивых соединений. Здесь сказались большие разнообразие физических условий в океане: разные глубины, уровни радиации, температуры воды, неодинаковый прогрев солнечными лучами и т.п.

Те органические соединения, которое образовывались в верхних слоях океана, были больше подвержены действию губительной солнечной радиации. Они разрушались, опускались на дно, становясь строительным материалом («пищей») для других. Биотический круговорот представляет собой единый процесс «разрушение-синтез» и является фактически обменом веществ. Наличие обмена веществ – характерная и весьма существенная черта жизни: если происходит только синтез, то это не жизнь, а кристаллизация. Ещё в 1870 г. выдающийся французский физиолог Клод Бернар писал, что «жизнь может быть только там, где есть вместе синтез и органическое разрушение».

Необходимо отметить следующее важное обстоятельство. Если рассматривать жизнь как единство процессов синтеза и деструкции органического вещества, то тогда надо признать, что на первых этапах она реализовывалась не через отдельные организмы, а через всю массу органического вещества, включённого в биотический круговорот (такой точки зрения придерживался В. И. Вернадский). Другими словами, жизнь появилась раньше, чем появились живые организмы, и формой проявления жизни был биотический круговорот.

Приведём в заключение данного вопроса слова известного биолога В. Р. Вильямса, в которых дана краткая, но выразительная характеристика сущности биотического круговорота (см. [2]): «Из большого абиотического круговорота веществ на земном шаре вырывается ряд элементов, которые постоянно увлекаемые в новый, малый по сравнению с большим, биологический круговорот надолго, если не навсегда, вырываются из траектории большого круговорота и вращаются непрерывно расширяющейся спиралью в одном направлении – в малом, биологическом. На безжизненном фоне геологических процессов возникает и развивается жизнь».

26.4. Гипотеза А. И. Опарина о коацерватной стадии развития жизни. Формирование отдельных организмов

Следующий этап в развитии жизни – формирование отдельных организмов. Имеется несколько гипотез, объясняющих этот этап. Наиболее известной из них является гипотеза академика А. И. Опарина, которая основывается на коацерватной стадии развития биологических систем. Коацерваты образуются в коллоидных растворах высокомолекулярных соединений и представляют собой капли объёмом $10^{-8} - 10^{-6}$ см³.

Основное условие образования коацерватов состоит в одновременном присутствии в растворе нескольких разноимённо заряженных высокомолекулярных соединений. Это условие имело место в водах первичного океана, поэтому там создавалось большое количество коацерватных комплексов.

Характерными чертами коацерватов являются следующие.

Обособленность (отграниченность) от окружающей среды, т.е. раствора. Она создаётся в результате образования поверхностной плёнки на границе раздела коацерватов и жидкости.

Большая степень концентрации в коацерватах высокомолекулярных соединений. Например, при коацервации в 1% растворе желатина свыше 90% этого вещества входит в состав коацерватов.

Избирательная абсорбция. Через поверхностную плёнку коацерваты поглощают (абсорбируют) из раствора различные органические и неорганические вещества. При этом коацерватами поглощаются не все вещества, находящиеся в растворе, а только те, которые способствуют сохранению их устойчивости. Так формируется избирательная абсорбция, которая в дальнейшем преобразовывается в процесс обмена веществ.

Способность дробиться под действием механических сил. Достигнув определённого размера, «материнская» капля распадается на несколько «дочерних». Важным при этом является то обстоятельство, что сохраняются только те «дочерние» капли, которые подобны «материнской».

Перечисленные выше свойства являются аналогами таких важнейших свойств живых существ, как обособленность; отличие между структурой организма и окружающей средой; обмен веществ; самовоспроизведение. Однако коацерваты нельзя считать живыми организмами, так как у них отсутствует *самый главный признак живого* – способность передачи по наследству всех характерных признаков организма своим потомкам. Наличие в первобытном океане белковых соединений, играющих роль «строительного материала» для живых организмов, ещё не даёт разгадки феномена возникновения жизни. Основная проблема здесь – объяснение того, как заработал механизм наследственности, то есть, как произошёл качественный скачок от неживого к живому. Теория А. И. Опарина не даёт этому никакого объяснения, в чём и состоит её слабость. В рамках концепции Опарина, следовательно, нельзя решить вопроса перехода химической эволюции материи в биологическую. Определённые сдвиги в решении этой проблемы наметились лишь в последние десятилетия благодаря развитию, прежде всего, молекулярной биологии и синергетики (см. следующий вопрос).

26.5. Современные концепции зарождения жизни

Жизнь на Земле возникла тогда, когда заработал механизм передачи наследственных признаков, то есть механизм воспроизведения отдельных организмов. «Строительным материалом» для живых организмов является белок, а вся информация для «сборки» белков сосредоточена в одномерной структуре молекул *ДНК* (дезоксирибонуклеиновой кислоты). Как же про-

изошло объединение белков и нуклеиновых кислот в единую систему? Это – важнейшая проблема в разгадке тайны жизни.

Один из сложных вопросов, связанных с зарождением жизни – *что* появилось раньше: белки или нуклеиновые кислоты? Сложность здесь состоит в том, что *ДНК* может функционировать лишь при наличии белков-ферментов. А для синтеза белков нужна *ДНК*. Получается замкнутый круг, который удалось разорвать лишь в 80-х годах XX века. Оказалось, что совмещение двух функций – каталитической и генетической – возможно в молекулах *РНК* (рибонуклеиновой кислоты), которая наделена такой же генетической способностью, как *ДНК*, и способна к саморепродукции при отсутствии белковых ферментов. В результате сформировалось представление, что процесс эволюции происходил от *РНК* к белку, а затем уже к *ДНК*.

Гипотеза, утверждающая первичность макромолекулярной системы с функциями генетического кода, называется *концепцией генобиоза*. Самым убедительным аргументом в пользу этой гипотезы является способность нуклеиновых кислот служить матрицами для построения комплементарных нуклеиновых кислот в присутствии катализатора или конденсирующего агента. Нуклеиновые кислоты подвергаются мутациям, и это их свойство наделило жизнь, основанную на нуклеиновых кислотах, способностью к тонким эволюционным изменениям.

Ещё одно направление в современной молекулярной биологии – изучение присущего только живой материи явления *хиральности*. Оно заключается в том, что живые вещества поворачивают плоскость поляризации проходящего через него поляризованного света влево (левая конфигурация) или вправо (правая конфигурация) – впервые это явление обнаружил Луи Пастер ещё в середине XIX века. К этому выводу Пастер пришел, обнаружив способность кристаллов солей виноградной кислоты, имеющих биологическое происхождение, отклонять поляризованный луч. Более того, данное свойство проявляется не только у самих кристаллов, но и у их водных растворов, что свидетельствует о молекулярной природе этого явления. В то же время у растворов из веществ небиологического происхождения указанное свойство отсутствует.

Это объясняется тем, что живое вещество содержит молекулы только одной конфигурации, а неживое вещество представляет собой симметричную смесь, в которой молекулы левой и правой конфигураций представлены приблизительно поровну (так называемый *рацемат*). В настоящее время считается доказанным, что *молекулярная хиральность* присуща только живой материи и является ее неотъемлемым свойством, а реализующий ее механизм получил название *стереохимического кода*. Возникает естественный вопрос – как возникло это явление и не следует ли искать в его происхождении истоки самой жизни? Уже сам Пастер задавался

этим вопросом. Тем самым Пастер первым вывел изучение проблемы происхождения живого на молекулярный уровень, и в этом его несомненная заслуга перед наукой.

Сегодня эти идеи получили широкое развитие в естествознании, причем не только в биологии, но и в химии, и в физике. Согласно современным представлениям, поскольку молекулярная хиральность является изначальным и фундаментальным признаком живой материи, то способность возродить хирально чистые молекулярные блоки зародилась так же рано, как и способность к генетически детерминированной саморепродукции. Иными словами, одновременно с генетическим возник еще один — стереохимический код. Его функцией стало кодирование построения хирально чистых мономеров, наличие которых необходимо для комплементарного взаимодействия молекул субстрата и ферментов при биохимических реакциях.

Таким образом, задача объяснения механизма молекулярной хиральности считается одной из важнейших в разгадке тайны жизни.

Данные современной биологии подтверждают, что в процессе перехода от химических систем к биологическим важную роль играл *катализ*, который отсутствовал на ранних стадиях эволюции.

Первыми катализаторами были соли меди, железа и других металлов. Постепенно сформировались биологические катализаторы, которые затем преобразовались в ферменты. Ферменты контролируют строго определённые реакции, и именно это сыграло важную роль в совершенствовании процесса обмена веществ. Решающий шаг в создании живых организмов — возникновение предбиологических систем (*протобионтов*) с вполне определённым (кодовым) отношением между белками и нуклеиновыми кислотами. Это привело к разделению функций между ними: белки представляют собой строительный материал, а нуклеиновые кислоты осуществляют передачу наследственной информации. В результате возникло такое определяющее свойство живого, как самовоспроизведение. Те протобионты, у которых обмен веществ сочетался со способностью к самовоспроизведению, имели наибольшие шансы в предбиологическом отборе; их уже можно считать живыми организмами.

С появлением живых существ эволюция жизни на планете Земля изменила свой характер: возникли качественно новые явления — жизнь и смерть. Если до этого биотический круговорот сводился к возникновению и распаду соединений углерода, то теперь его содержанием стало рождение и гибель отдельных организмов, развитие новых видов и вымирание старых. В полную силу заработал мощный фактор эволюции — естественный отбор (см. [2]).

Биохимическая эволюция материи заняла около миллиарда лет, начавшись практически сразу после формирования земной коры с абиоген-

ного синтеза органических веществ и закончившись созданием живых организмов. Дальнейшее развитие этих организмов уже полностью приобрело черты биологической эволюции.

Несмотря на решение в последние десятилетия ряда вопросов возникновения жизни, главная проблема – качественный скачок от неживого к живому, т.е. переход от химической эволюции к биологической, – остаётся нерешённой. Характеризуя невероятную сложность этой проблемы, американский исследователь Дж. Хорган замечает: «Перейти от бактерии к человеку – меньший шаг, чем перейти от смеси аминокислот к этой бактерии».

Одно время считалось, что возникновение первичной живой молекулы из неживых компонентов произошло чисто случайно. Эта точка зрения получила широкое распространение после работ американского генетика, лауреата Нобелевской премии Г. Меллера, считавшего, что элементарная единица наследственности – ген – одновременно является и основой жизни. В 1929 г. Меллер высказал мысль о том, что путём случайного сочетания атомных группировок, встречающихся в водах первичного океана, возникает «живая молекула» – ген.

Однако вероятность случайного возникновения из элементарных составляющих сложной молекулы заданного образца исчезающе мала. Так, немецкий биохимик Г. Шрамм, произведя расчёт вероятности возникновения молекулы рибонуклеиновой кислоты вируса табачной мозаики (которая содержит в своём составе около 6000 расположенных определённым образом нуклеотидов), получил значение этой вероятности $1:10^{2000}$. По этому поводу Шрамм отмечает, что за 10^9 лет, отведённых для синтеза простейшего организма, трудно рассчитывать на получение одной молекулы рибонуклеиновой кислоты даже в том случае, если бы весь Космос представлял собой реагирующую смесь нуклеотидов.

Возникает принципиальный вопрос – можно ли использовать аппарат теории вероятностей при изучении проблемы происхождения жизни? Для этого необходимо трактовать процессы, связанные с зарождением и развитием жизни как «слепую игру случая». Однако в рамках эволюционной концепции проблема ставится иначе: в развитии живой материи от простейших форм к более сложным проявляются ее определенные специфические свойства, которые пока нам не известны. Выдающийся математик первой половины XX в., один из основателей теории вероятностей Эмиль Борель говорит по этому поводу следующее [6]: «Как мне кажется, мы должны считать правдоподобным, что образование простейших живых организмов и их развитие обусловлены такими элементарными свойствами материи, которые нам полностью не известны, но наличие которых мы все же должны допустить».

В настоящее время с учётом данных молекулярной биологии гипотеза случайного возникновения живой молекулы из неживых компонент не может рассматриваться как серьёзная. Современные подходы к решению проблемы возникновения жизни базируются на идеях самоорганизации материи, т.е. на синергетике (см. тему 11).

Одна из современных концепций «химической» самоорганизации предбиологических систем была выдвинута в начале 70-х годов XX века немецким микробиологом Манфредом Эйгеном ([7, 8]). Эйген рассматривает «первичный бульон» как неравновесную систему, в которой находится множество нуклеотидов и аминокислот со случайной последовательностью звеньев. Поскольку в «бульоне» одновременно происходит большое число реакций, есть вероятность образования каталитических циклов реакций. Циклическая организация реакций является более выгодной по своим термодинамическим и кинетическим характеристикам, чем цепочная, незамкнутая организация, а потому она имеет больше «шансов на выживание» при естественном отборе реакций.

Далее возникает понятие *гиперцикла* как определённым образом упорядоченного множества элементарных циклов. Центральная идея теории М. Эйгена состоит в том, что происходит спонтанно возникающая *конкуренция гиперциклов*. По мысли Эйгена дарвиновской эволюции видов предшествовал аналогичный процесс молекулярной эволюции – отбор *гиперциклов*, который и привёл к созданию уникального аппарата клетки. Работы Эйгена указывают возможный путь эволюции предбиологических систем, проходившей в первый миллиард лет существования Земли – самый «темный» период истории жизни на планете, поскольку о нем не сохранилось почти никаких следов.

В рамках синергетического подхода возникновение более сложной организации из более простой представляет собой закономерное воплощение в пределах некоторой материальной системы особенностей структуры и организации её надсистемы. В случае возникновения жизни в качестве такой материальной системы выступала первобытная Земля, а в качестве её надсистемы – Космос, откуда черпалась энергия и информация об особенностях структуры и организации.

Ясно, что такие явления, как возникновение хиральности, появление первичных молекул РНК не могли произойти в ходе плавного эволюционного развития. По-видимому, 3,5 млрд лет назад первобытная Земля находилась в точке бифуркации и скачком подключилась к новому аттрактору, имя которому – жизнь.

Тема 27. Эволюция жизни

Основные вопросы:

27.1. Эволюция одноклеточных организмов.

27.2. Эволюция растительного мира.

27.3. Эволюция животного мира.

27.4. Основные выводы.

27.1. Эволюция одноклеточных организмов

Первые организмы, появившиеся на Земле более 3,5 млрд лет назад, – бактерии и сине-зелёные водоросли. Это были одноклеточные существа, отличающиеся простотой строения и функций. Их относят к *прокариотам* (*безъядерным*), так как их клетки не обладают оформленным ядром. Это обстоятельство определило, в частности, небольшой объём имевшейся у них наследственной информации. Жизнедеятельность первых бактерий протекала на основе энергии брожения и использования в качестве питания готовых органических соединений, возникших абиогенно на этапе биохимической эволюции. Следовательно, первоначально живые существа были не производителями органических веществ, а лишь их потребителями (так называемые *гетеротрофы*).

Гигантский шаг на пути эволюции жизни был связан с возникновением новых биохимических процессов обмена – фотосинтеза и дыхания, а также с преобразованием клеточной структуры. Методами молекулярной биологии установлено поразительное единообразие биохимических основ жизни при огромных различиях организмов по другим признакам. Так, белки почти всех живых существ состоят из двадцати аминокислот. Нуклеиновые кислоты, в которых содержатся коды белков, «собираются» из четырёх нуклеотидов, и биосинтез белка осуществляется по единообразной схеме. Подавляющая часть современных организмов использует энергию окисления, дыхания и гликолиза, которая запасается в молекулах *АТФ*. Все живые организмы (кроме бактерий) сходны между собой по внутриклеточной организации, генетике, биохимии и метаболизму. Таким образом, найденные природой ещё на ранних стадиях биологической эволюции основы жизни сохранились до настоящего времени.

Эволюция простейших одноклеточных организмов происходила неравномерно и сопровождалась несколькими качественными скачками (так называемыми *араморфозами*). Первый такой скачок произошёл в середине протерозойской эры 1,5 млрд лет назад и состоял в появлении *эукариот* – клеточных организмов, обладающих ядром. (Некоторые биологи считают, что основное различие существует не между грибами, растениями и животными, а между организмами, обладающими ядром и не имеющими его.)

Отличаясь от прокариот более сложной организацией, эукариоты используют больший объем наследственной информации. В отличие от прокариот, у которых наследственное вещество распределено диффузно по всей клетке, у эукариот носители наследственной информации – гены – локализованы в хромосомах ядра.

Хотя прямого соответствия между уровнем сложности молекулы *ДНК* и уровнем морфофизиологической организации организмов пока не установлено, цифры говорят об этом недвусмысленно. Так, у представителей процветающего класса насекомых общая длина молекул *ДНК* в геноме превышает 10^8 пар нуклеотидов, у предшественников хордовых – $4 \cdot 10^8$, у амфибий – $8 \cdot 10^8$, у рептилий – 10^9 , у млекопитающих – $5 \cdot 10^9$. Длина молекулы *ДНК* современной бактерии – кишечной палочки – составляет всего $4 \cdot 10^6$ пар нуклеотидов.

Ещё одно существенное различие между прокариотами и эукариотами состоит в том, что первые могут жить как в бескислородной среде, так и в среде с разным содержанием кислорода, в то время как для эукариот (за немногим исключением) кислород обязателен. В отличие от прокариот, для которых энергетический обмен основан на анаэробном (бескислородном) брожении, для эукариот центральным механизмом обмена является дыхание. Аэробный метаболизм оказался значительно выгоднее, так как при окислении углеводов выход биологически полезной энергии в 18 раз больше, чем при брожении.

- В 1977 г. американские океанографы обнаружили у Галапагосских островов участки вокруг донных горячих источников, заселенные крупными живыми существами – креветками, мидиями, моллюсками, трубчатыми червями. Все они существовали за счет жизнедеятельности огромных колоний бактерий, извлекающих энергию из сульфидов водорода – весьма токсичных для наземных животных соединений. Это была экосистема, основанная не на фотосинтезе, а на хемосинтезе, не зависящем ни от солнечной энергии, ни от кислорода [9].

Первые фотосинтезирующие бактерии появились на заре жизни, около 3 млрд лет назад. Жизнь тогда была представлена тонкой бактериальной пленкой на дне водоемов и во влажных местах суши. Одна из групп прокариот – цианобактерии (сине-зеленые водоросли) – сумела выработать современный кислородный механизм фотосинтеза с расщеплением воды под действием солнечного света. Образующийся при этом водород соединялся с углекислым газом с образованием углеводов, а свободный кислород стал накапливаться – сначала в гидросфере, а затем в атмосфере. В интервале 2–1,7 млрд лет назад концентрация кислорода в атмосфере достигла 1/10 части современного содержания кислорода в атмосфере (так называемые *точки Юри – Пастера*) – уровня, при котором невозможно существование археобактерий, живших за счет брожения в восстановительной среде ранней биосферы. Точка Юри – Пастера разделяет историю развития био-

сферы Земли на два этапа – *восстановительный* (бескислородный) и *окислительный* (кислородный). К началу фанерозоя – эпохи явной жизни, которая длится уже около 600 млн лет, атмосфера Земли содержала уже около одной трети от современного количества кислорода. По-видимому, такой состав атмосферы способствовал возникновению новых форм организмов, в числе которых были предки распространившихся впоследствии позвоночных.

Фотосинтезирующая деятельность первых одноклеточных имела три последствия, оказавших решающее влияние на всю дальнейшую эволюцию живого. Во-первых, фотосинтез избавил организмы от конкуренции за природные запасы органических соединений, количество которых было ограничено. Во-вторых, он обеспечил насыщение атмосферы фотосинтетическим кислородом, что позволило развиваться организмам, энергетический обмен которых основан на процессах дыхания. В-третьих, в результате процесса фотосинтеза в верхней части атмосферы начал образовываться озоновый экран, защищающий организмы от губительного ультрафиолетового излучения космоса.

В эволюции одноклеточных организмов выделяют ряд промежуточных ступеней, связанных с усложнением строения организма, а также с совершенствованием генетического аппарата и способов размножения. Важной стадией в эволюции эукариот явилась дифференциация их внутреннего строения с формированием высокоспециализированных органоидов (мембрана, ядро, цитоплазма, рибосомы, митохондрии и др.) Особенно существенной была здесь эволюция ядерного аппарата – образование в ядрах настоящих хромосом, где локализована наследственная информация.

На границе археозоя и протерозоя произошло два крупных эволюционных события – появились половой процесс и многоклеточность. При бесполом размножении наследственная информация, содержащаяся в *ДНК* клеток родителей и потомков, идентична, поэтому принципиально новых признаков или свойств у потомков не возникает. В то же время, при половом размножении происходит обмен участками между гомологичными хромосомами родителей (явление *кроссинговера*). Благодаря кроссинговеру родители «обмениваются генами» и у дочерних организмов появляются новые сочетания признаков. Таким образом, половое размножение резко повышает возможности приспособления организмов к изменяющимся условиям среды.

Первоначально эукариоты имели одноклеточное строение. Из них в дальнейшем развиваются многоклеточные организмы со сложной специализацией клеток – многоклеточные растения и многоклеточные животные. Переходная стадия от одноклеточного организма к многоклеточному – *колониальность* (клетки делятся, но не расходятся). Первая стадия в эволюции колониальных организмов в направлении многоклеточной организа-

ции характеризуется специализацией клеток по принципу «разделения труда» у членов колонии. Клетки подразделяются на *соматические*, осуществляющие функции питания и движения, и *генеративные*, служащие для размножения. Далее происходит специализация функций на тканевом, органном и системно-органном уровнях. Совершенствование взаимодействия между клетками осуществляется вначале контактным способом, а затем – с помощью нервной и эндокринной систем. Это обеспечивает функционирование многоклеточного организма как единого целого со сложным взаимодействием его частей и адекватным реагированием на окружающую среду.

Например, у кишечнополостных формируется простая нервная система, которая, распространяя нервные импульсы, координирует деятельность двигательных, железистых и репродуктивных клеток. Единого первичного центра ещё нет, но уже имеются центры координации. Далее идёт усложнение морфофизиологической структуры на основе усиления тканевой специализации. Возникает выраженная централизованная нервная система: у беспозвоночных – ганглиолярная, у позвоночных – с центром и периферическими отделами.

Финалом в эволюции многоклеточной организации стало появление организмов с поведением разумного типа. Сюда относятся животные с высоко развитой условно-рефлекторной деятельностью, способные передавать информацию следующим поколениям не только через наследственность, но и надгаметным способом (например, посредством обучения). Заключительным этапом в эволюции централизованно-дифференцированной стадии стало возникновение человека.

27.2. Эволюция растительного мира

В протерозойскую эру, около 1 млрд лет назад эволюционный ствол древнейших эукариот разделился на несколько ветвей, от которых возникли многоклеточные растения (зелёные, бурые и красные водоросли), а также грибы. Большая часть этих растений плавала в морской воде, некоторые прикреплялись ко дну. Фиксированный образ жизни потребовал от различных клеток таких растений выполнения различных функций (сцепление с поверхностью дна, транспортировка питательных веществ, фотосинтез), что в итоге привело к многоклеточности. Интересно отметить, что у растений успехов в развитии многоклеточности достигли те, которые осуществляли неподвижный образ жизни (прикрепление ко дну), а у животных успех сопутствовал активно движущимся формам. Возникновение многоклеточности – важнейший шаг в эволюции растений.

Следующий этап эволюции растительной жизни – выход растений на сушу. Необходимым условием осуществления этого явилось образование

на поверхности суши биогенного слоя – почвы (результат взаимодействия бактерий с минеральными веществами), а также образование озонового экрана. Выход растений на сушу произошёл в конце силурийского периода, 410 млн лет назад. Первыми наземными растениями были *псилофиты*, произошедшие от зелёных водорослей. В водоёмах водоросли абсорбируют воду и растворённые в ней минеральные вещества всей своей поверхностью, а выросты, напоминающие корни, служат лишь органами прикрепления. Вне водоёма становится необходимым расчленение тела на отдельные органы, выполняющие определённые функции. В этих условиях растения могут черпать влагу и минеральные вещества только из почвы, а для этого необходима сосудистая система. Для «доставания» питательных веществ из почвы нужна корневая система. Необходимость поддержания растения в воздушной среде ведёт к формированию стебля. Псилофиты уже имели сосудистую систему и первые, ещё слабо дифференцированные ткани; корни и листья у них отсутствовали.

В девоне псилофиты исчезли и распространились споровые растения: хвощи, плауны и папоротникообразные. Однако отрыв этих растений от воды ещё не был окончательным, так как для их размножения требуется водная среда в качестве переносчика спор. Эволюция открыла новый путь размножения растений – семенами. Семя снабжено оболочкой, предохраняющей его от внешних воздействий и от пересыхания. Переход к размножению семенами освободил растения от необходимости водной среды. Первые голосеменные растения – семенные папоротники – возникли от древних папоротников.

Время расцвета наземной флоры – каменноугольный период. Одной из причин этого явилось повышенное содержание кислорода в атмосфере, – оно достигало 35% против 21% в атмосфере современной Земли. В сочетании с теплым и влажным климатом это привело к появлению растений гигантских размеров: хвощи и древовидные папоротники имели высоту до 15 метров, а плаунообразные и сигилляриевые достигали 40 метров. К середине пермского периода климат стал засушливее, что отразилось на составе флоры: исчезли гигантские папоротники, древовидные плауны, ка ламиты, уступив место хвойным растениям. Начавшееся в пермский период «наступление» голосеменных растений привело к их господству в мезозойскую эру. Возможность размножения семенами позволила им оторваться от побережий и занять обширные сухопутные территории.

В меловой период – последний период мезозойской эры – произошёл ещё один крупный сдвиг в эволюции растений: появились *покрытосеменные* (*цветковые*). Первые представители покрытосеменных представляли собой кустарники или низкорослые деревья с мелкими листьями. В течение короткого периода цветковые достигли огромного разнообразия форм со значительными размерами и крупными листьями. Значительные пре-

имущества цветковых над голосеменными – опыление насекомыми и внутреннее оплодотворение – обеспечило их расцвет в кайнозое. В настоящее время число видов покрытосеменных составляет около 250 тысяч, то есть почти половину известных видов растений.

27.3. Эволюция животного мира

Как и когда произошло разделение живого на растения и животных? До конца этот вопрос не выяснен. Возможно, первые животные произошли от общего ствола одноклеточных зелёных водорослей, способных и к фотосинтезу (как растения), и к гетеротрофному питанию (как животные), например, эвглена зелёная. Поэтому ботаники относят её к типу водорослей, а зоологи – к типу простейших. Ещё примеры – кораллы и губки, которые всю жизнь остаются неподвижными, не имеют ни явно дифференцированных органов, ни нервной ткани, но по другим своим свойствам могут быть отнесены к животным.

Самые ранние следы животных обнаруживаются в конце протерозойской эры, 600–800 млн лет назад [10]. К началу палеозоя земные моря уже были заселены разнообразными животными: одиночными и колониальными полипами, медузами, членистоногими и иглокожими. Примечательно, что первые животные были бесскелетными (желеподобными), поэтому их останки встречаются крайне редко.

В кембрийский период уже существуют почти все типы животных, кроме хордовых. Жизнь господствовала в морях, площадь которых значительно превышала площадь современных морей (в частности, почти вся современная Европа была морским дном). В кембрийский период происходит изменение химизма океана: увеличивается смыв солей из суши, возрастает концентрация кальция и магния в морской воде; в результате морские животные получили возможность усваивать в больших количествах минеральные соли, что открыло перед ними широкие возможности для построения жёсткого скелета. Скелетные беспозвоночные определяют облик кембрийских морей. Наибольшее распространение получили древние членистоногие – трилобиты; их тело заключено в хитиновый панцирь, а размеры колебались от нескольких сантиметров до полуметра. В то же время в морях жили громадные хищные ракоскорпионы, а также губки, кораллы, моллюски, иглокожие и плеченогие.

В ордовике продолжается совершенствование и специализация основных типов. В геологических отложениях этого периода впервые обнаружены останки животных, имевших внутренний осевой скелет.

В силурийский период появляются первые позвоночные – панцирные рыбы. Внутренний скелет этих рыб был хрящевым, а снаружи тело покрывал костный панцирь, состоящий из щитков. Из-за малоподвижного образа

жизни панцирные рыбы оказались неспособными к дальнейшему развитию.

В ходе дальнейшей эволюции, продолжавшейся в палеозое, мезозое и кайнозое, позвоночные (образующие, по современной классификации, подтип типа хордовых), составили наиболее высокоорганизованную, обширную и разнообразную группу животного царства. У представителей этого типа осевым скелетом является хорда – упругий эластичный стержень, простирающийся от хвостовой до головной части, а центральная нервная система состоит из головного и спинного мозга. Позвоночные подразделяются на рыб, земноводных, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих.

Для возникновения четырех классов наземных позвоночных потребовалось около 250 млн лет. К концу силурийского периода содержание кислорода в атмосфере поднимается настолько, что формируется достаточно плотный озоновый экран, защищающий поверхность Земли от губительного ультрафиолетового излучения Солнца (ультрафиолетовое излучение быстро убивает живые клетки путем разрушения молекул ДНК).

В *девонский* период большого расцвета достигли рыбы – потомки панцирных рыб; среди них были *хрящевые* (от которых произошли современные акулы, скаты, химеры), а также появились рыбы с костным скелетом: *кистепёрые* и *лучепёрые*, которые отличались друг от друга строением плавников. У кистепёрых рыб были короткие мясистые плавники, при помощи которых они могли не только плавать, но и передвигаться по высыхающим озёрам в поисках воды и пищи. В условиях обмелевших водоёмов они приобрели способность дышать воздухом: для дыхания им служил плавательный пузырь с сильно разветвлёнными кровеносными сосудами. Постепенно парные плавники превратились в пятипалую конечность, а плавательный пузырь, разрастаясь, превратился в лёгкие. В позднедевонскую эпоху приблизительно через 50 млн лет после появления псилофитов по суше стали распространяться потомки кистепёрых рыб. Новый способ передвижения позволил им на некоторое время удалиться от воды, в результате чего сформировались существа с новым образом жизни – земноводные (амфибии). В связи с выходом на сушу в строении земноводных получили дальнейшее развитие черты сухопутных животных: плавники постепенно преобразовались в пятипалые конечности, развилось шарнирное сочленение в плечевом и бедренном суставах (что обеспечило удобство передвижения на суше с помощью ползания), совершенствовалось лёгочное дыхание.

В *каменноугольный* период древние амфибии, представленные большим разнообразием форм (объединяемых общим названием «стегоцефалы»), достигают пика своего развития. Однако из-за особенностей своего размножения земноводные навсегда остались связанными со своей колы-

белью – водной средой – и поэтому не могли завоевать сушу. Хозяевами суши примерно через 50 млн лет после выхода на сушу земноводных стали их потомки – пресмыкающиеся (рептилии). У пресмыкающихся нет стадий, связанных с водой. Их размножение происходит на основе откладывания яиц, имеющих специальную прослойку из жидкости, которая предохраняет зародыши от высыхания; пресмыкающиеся снабжены защищающим их роговым покровом тела; обособленный шейный позвонок позволяет им свободно двигать головой и быстрее реагировать на внешние события. Эти особенности пресмыкающихся по сравнению с земноводными дали им преимущества, которые обеспечили им выживание в условиях наступления засушливого климата в *пермский период*. Пресмыкающиеся могли далеко удаляться от водных бассейнов и широко распространились по земной суше.

В животном мире *мезозоя* расцвета достигают насекомые и пресмыкающиеся. Рептилии занимали господствующее положение в течение всей мезозойской эры, освоив все три среды – сушу, море и воздух. Подлинными хозяевами Земли в течение 150 млн лет становятся динозавры, не имевшие конкурентов и быстро распространившиеся по всему земному шару. Масса некоторых динозавров достигала 50 т, а длина – более 30 м. В юрский период появляются летающие ящеры – *птерозавры* и *археоптериксы*. Ещё раньше, в конце триаса появилась водная форма пресмыкающихся – *ихтиозавры*. В конце мезозойской эры на Земле происходят горообразовательные процессы. Наступает похолодание, сокращается ареал растительности. Происходит массовое вымирание динозавров.

Существует множество гипотез о причинах вымирания динозавров, которые можно подразделить на два типа: эволюционные и катастрофические [11]. Эволюционные гипотезы объясняют это явление постепенно действующими причинами. Одна из них – изменение климата, которое способствовало массовому сокращению растительности, что привело к вымиранию вначале растительноядных, а затем и хищных животных. Другая гипотеза – смена типа растительности в конце мелового периода, что вызвало обогащение атмосферы кислородом и снижение свободной углекислоты. Катастрофические гипотезы объясняют факт вымирания динозавров космической катастрофой, имевшей место в далёком прошлом.

- Одна из таких гипотез возникла в конце 70-х годов прошлого века на основании исследований американских ученых Луиса и Уолтера Альваресов, которые обнаружили в слоях земной коры, относящихся к границе мелового и палеогенового периодов, избыточное количество иридия и других металлов платиновой группы. Этот факт был подтвержден данными для различных географических районов, что доказывает распространение в то время над Землей аэрозольного облака, включающего частицы, содержащие металлы группы платиноидов. На основании того, что повышенное содержание этих металлов характерно для вещества астероидов, Альваресы сделали вывод о произошедшем в конце мелово-

го периода столкновения Земли с астероидом диаметром около 10 км. В результате этого произошел грандиозный взрыв, который выбросил в верхние слои атмосферы большое количество аэрозольных частиц, образовавших экран для солнечной радиации над всей поверхностью Земли. Альваресы и их сотрудники считали, что следствием этого явилось резкое ослабление солнечной радиации, приведшее к прекращению фотосинтеза зеленых растений. Гибель растений должна была привести сначала к вымиранию растительноядных животных (то есть консументов 1-го порядка), а затем к вымиранию хищников, питающихся этими животными (консументов 2-го порядка) и т. д.

Наряду с этим, высказывались предположения, что значительное количество частиц, содержащих иридий, оказалось в атмосфере не из-за падения астероида, а вследствие крупного вулканического извержения или в результате обоих этих событий (так как падение астероида могло вызвать серию взрывных вулканических извержений).

- По мнению известного климатолога М. И. Будыко [12] причиной вымирания многих организмов мезозойской эры, включая динозавров, было резкое понижение температуры воздуха, имевшее характер глобальной климатической катастрофы. Существуют данные, указывающие на неоднократность в истории Земли аэрозольных климатических катастроф, приводивших к массовым вымираниям организмов.
- Другая гипотеза была выдвинута отечественными учёными В. П. Красовским и И. С. Шкловским. Её суть в том, что в результате вспышки сверхновой в непосредственной близости от Солнца произошло длительное, продолжавшееся несколько тысячелетий, воздействие на земные организмы космических лучей с интенсивностью в десятки и сотни раз больше обычной. Это привело к увеличению частоты мутаций, что особенно негативно сказывается на долгоживущих организмах.
- В настоящее время многие специалисты считают наиболее вероятной причиной этой катастрофы падение гигантского метеорита на полуостров Юкатан (современная Мексика), произошедшее 65 млн. лет назад. При этом падение Юкатанского метеорита спровоцировало серию сильных землетрясений и цунами, а поднятая при ударе пыль экранировала Землю от солнечных лучей, вызвав гибель растений, а затем и животных, зависящих от растительной пищи. Хотя эта гипотеза является весьма распространенной, ее еще нельзя считать окончательно доказанной.

В последние годы стало ясно, что вымирание динозавров не было изолированным эпизодом. Одновременно исчезли и многие другие формы животного мира – от микроскопического планктона до рыб. Далее, оказывается, что подобные вымирания происходили и ранее. В геологии они характеризуются внезапным и одновременным исчезновением больших групп ископаемых организмов, за которым вскоре следует появление эволюционно новых групп. Цикличность вымираний составляет примерно 26–32 млн лет. Этот период хорошо согласуется с периодичностью прохождения Солнечной системы через так называемую *центральную плоскость Галактики* – плоскость, в которой сосредоточена основная галактическая масса. Существует большое число гипотез относительно форм взаимодей-

ствия Галактики с Солнечной системой. Хотя ни одна из этих гипотез не получила окончательного подтверждения, но наблюдаемая синхронизация вымираний видов организмов и прохождений Земли через центральную галактическую плоскость по-видимому не является случайной [13].

Ещё в триасе в период господства динозавров существовала группа примитивных млекопитающих – небольших по размеру теплокровных животных с шерстным покровом, возникших от одного из видов пресмыкающихся (терапсид). В течение мезозойской эры млекопитающие были на периферии основной линии развития животного мира – доминирующее положение занимали пресмыкающиеся. Но уже в начале кайнозойской эры господствующее положение заняли млекопитающие, приспособившись к изменившимся условиям жизни и заняв ту нишу, которая освободилась после исчезновения динозавров. Млекопитающие выходят на передний край эволюции благодаря таким прогрессивным адаптациям, как вскармливание потомства молоком, более развитый мозг и связанная с этим большая активность, а также теплокровность. Значительного разнообразия млекопитающие достигли в кайнозое; появились приматы, прогрессивная эволюция которых привела к возникновению человека.

Время существования современного человека составляет всего одну десятитысячную часть от времени распространения животных на суше и менее одной тысячной от времени существования млекопитающих. Возникает вопрос – почему возникновение мыслящего существа происходило столь медленными темпами? Главное здесь в том, что (вопреки довольно распространенному мнению) процесс эволюции организмов не имел никакой заранее определенной цели вообще и цели создания человека, в частности. Процесс эволюции жизни много раз и на длительное время замедлялся по разным причинам, происходили грандиозные вымирания видов, вытеснения более прогрессивных форм менее прогрессивными. Например, в пермском периоде, в интервале 280–240 млн лет назад обитали довольно близкие к млекопитающим звероподобные рептилии. Однако из-за неблагоприятных условий внешней среды и, главным образом, ввиду уменьшения в этот период количества атмосферного кислорода, они постепенно вымерли, и ко времени увеличения массы кислорода в атмосфере от этой ранее процветающей группы осталось лишь незначительное число видов. От них и произошли первые млекопитающие. Около 130 млн лет млекопитающие сосуществовали с динозаврами, но явно уступали последним. И лишь когда 65 млн лет назад динозавры исчезли, млекопитающие выдвинулись на передний край эволюции, заняв освободившуюся экологическую нишу.

- В работе [12] обсуждается следующая интересная проблема: были ли шансы для появления «мыслящего динозавра»? В антропологии возникновение человека связывается со следующими условиями, достигнутыми в ходе эволюции его

предков: прямохождением, развитием свободно действующих пальцев верхних конечностей, увеличением объема головного мозга и усложнением его структуры. К этим условиям необходимо добавить еще одно: определенный размер тела. Исследования современной фауны показывают, что как у животных маленьких размеров, так и у гигантских форм возникновение сложного головного мозга маловероятно. Оптимальный размер тела, обеспечивающий такие условия, соответствует массе организмов в несколько десятков килограммов. Что касается динозавров – среди них прямохождение было распространено гораздо больше, чем среди млекопитающих, а также были формы со свободно действующими пальцами передних конечностей. Условие оптимальной массы соответствовали многие виды динозавров в течение почти всей истории их существования, длившейся около 150 млн лет. Главным препятствием для появления «мыслящего динозавра» было ограниченное развитие их головного мозга (хотя мозг динозавров по объему не уступал мозгу других рептилий таких же размеров, он сильно уступал – по отношению к размерам тела – объему мозга даже примитивных млекопитающих мезозойской эры). Однако в конце мезозойской эры появились динозавры из семейства завроорнитидов, которые при массе тела в несколько десятков килограммов, прямохождении и наличии хорошо развитых пальцев передних конечностей, обладали головным мозгом, который по своим относительным размерам лишь немного уступал мозгу млекопитающих. Предполагается, что некоторые виды завроорнитидов обладали стереоскопическим зрением – качеством, которым среди млекопитающих достигли только высшие приматы. По мнению М. И. Будыко, причиной того, что завроорнитиды не смогли стать «мыслящими динозаврами» и вымерли вместе с другими видами в конце мелового периода, явилось их холоднокровие (эктотермность). По-видимому, значительное развитие высшей нервной деятельности недостижимо для эктотермных животных даже при значительных размерах их головного мозга. Итак, динозавры, появившиеся раньше млекопитающих и успешно освоившие наземные экологические системы, оказались первыми претендентами на продвижение в категорию мыслящих существ. Если бы это произошло, то «мыслящее млекопитающее» – человек – не имело бы никаких шансов на появление.

27.4. Основные выводы

Приведённый выше краткий обзор развития жизни на Земле позволяет сделать следующие выводы (см. [2]).

1. На ранних этапах своего развития жизнь не была связана с отдельными живыми организмами, а выражалась в едином живом веществе. Согласно В. И. Вернадскому, возникновение жизни сводится к происхождению биосферы, которая с самого начала была сложной саморегулирующейся системой. Первое появление жизни при создании биосферы должно было произойти не в виде появления какого-нибудь вида организма, а в виде совокупности, отвечающей геохимическим функциям жизни.

2. Жизнь, зародившись первоначально в море, затем охватила все среды: сушу, воздух, океан (по выражению В. И. Вернадского, имеет место «всюдность жизни»).

3. Начиная с древнейших времён и до настоящего времени происходило увеличение разнообразия живых существ и усложнение их организации.

4. Развитие жизни происходило неравномерно. Сине-зелёные водоросли и бактерии морфологически изменились сравнительно мало с архейских времён. В то же время, в других линиях жизни произошли огромные изменения, которые привели к возникновению сложных поведенческих реакций на основе высшей нервной деятельности. Наряду с появлением и развитием одних форм шло вымирание других, которые оказались неспособными к существованию в изменившихся условиях среды.

5. Многочисленные процессы, происходившие в геологической истории Земли, не смогли остановить развития жизни. К числу таких процессов планетарного масштаба относятся: тектоническая деятельность; перемещения материков; горообразование; трансгрессии и регрессии моря; изменения состава атмосферы. Исключительная устойчивость жизни объясняется такими её свойствами, прогрессирующими по мере хода геологических эпох, как «всюдность», неравномерность развития и разнообразие. Жизнь сама создаёт условия для своего дальнейшего развития.

Исследование процессов зарождения и развития жизни является важнейшей задачей естествознания (первые шаги в этом направлении были предприняты еще в эпоху Античности Аристотелем). В настоящее время проблема происхождения жизни рассматривается как комплексная научная проблема, в разработку которой свой вклад вносят представители различных наук, в первую очередь, биохимики и специалисты в области молекулярной биологии. Однако решение многих возникающих здесь вопросов не может быть достигнуто без участия исследователей, которые заняты изучением среды возникновения и развития жизни: геологов, палеонтологов, геохимиков и др. Важным также является привлечение данных новой науки – современной космохимии.

Интересно отметить, что по мере развития естествознания граница зарождения жизни постоянно отодвигалась вглубь. Так, до начала XX в. считалось, что жизнь на Земле существует около 600 млн. лет, к середине века этот срок был увеличен до 2 млрд лет, к 1970 г. – до 2,5 млрд лет. В настоящее время появление первых живых организмов датируется интервалом 3,5 – 3,7 млрд лет назад. Некоторые биологи отодвигают период зарождения примитивных организмов – предшественников клеток – в интервал 4–4,2 млрд лет назад. Таким образом, согласно современным представлениям, зарождение жизни происходит практически с самого начала геологической истории Земли.

Тема 28. Структурные уровни живой материи

Основные вопросы:

28.1. Молекулярно-клеточный уровень жизни.

Передача наследственной информации.

28.2. Организменный и органно-тканевый уровни.

28.3. Популяционно-видовой уровень. Биоценозы.

28.4. Биосферный уровень организации живой материи.

28.1. Молекулярно-клеточный уровень жизни.

Передача наследственной информации

Мир живого чрезвычайно многообразен. В биологии выделяются следующие структурные уровни живой материи:

- молекулярно-клеточный;
- организменный и органно-тканевый;
- популяционно-видовой;
- биоценотический;
- биосферный.

Отдельные структурные уровни живого являются объектом изучения соответствующих разделов биологии: молекулярно-клеточный уровень изучают молекулярная биология, генетика, цитология; организменный и органно-тканевый – анатомия и физиология; популяционно-видовой – зоология и ботаника; биоценотический и биосферный – экология. Далее дается краткая характеристика указанных структурных уровней живой материи [14].

Низший уровень организации живой материи – молекулярно-клеточный. Важнейшие процессы жизнедеятельности организма: обмен веществ, превращение энергии, передача наследственной информации – происходят уже на молекулярном уровне, однако элементарной единицей живого является клетка. Клетка обладает всеми важнейшими признаками живого и в то же время в природе не существует более простых структур, обладающих этими признаками. Подавляющее большинство живых организмов на Земле состоит из клеток, которые сходны по своему химическому составу, строению и жизнедеятельности. В настоящее время клетка рассматривается как сложная система, главными составными частями которой являются *цитоплазма* и *ядро*. Ядро содержит *хромосомы*, *ядрышко* и *ядерный сок*. Целостность клетки обеспечивают её *мембраны*. Клетка может существовать только как неделимая на части целостная система.

Все основные структуры организма построены из белков. Белок представляет собой биополимер, составными элементами которого являются аминокислоты. Хотя в химии известно более 100 аминокислот, при

построении белков используется только 20 из них. Синтез белков происходит в определённых областях цитоплазмы клетки – *рибосомах* – с помощью нуклеиновых кислот: *ДНК* (дезоксирибонуклеиновая кислота) и *РНК* (рибонуклеиновая кислота). В молекулах *ДНК* закодирована вся наследственная информация, представляющая собой «программу» для синтеза белков.

В 1953 г. английский биофизик Френсис Крик и американский биохимик Джеймс Уотсон (бывшие в то время сотрудниками знаменитой Кавендишской лаборатории) на основе рентгеноструктурного анализа установили строение молекулы *ДНК*. Это было выдающееся открытие XX века, положившее начало молекулярной биологии. Уотсон и Крик установили, что по своей пространственной структуре молекула *ДНК* имеет вид закрученной вправо двойной спирали, состоящей из двух нитей, соединённых «перекладинами», называемыми *нуклеотидами*. Нуклеотиды образуют алфавит, на котором «записана» вся наследственная информация организма. (Идея о том, что в структуре *ДНК* закодирован способ синтеза белков, впервые была высказана физиком Г. Гамовым). Кодирование наследственной информации осуществляется следующим образом. По своему химическому составу молекула *ДНК* состоит из сахаров, остатков фосфорной кислоты и азотистых оснований. Существует четыре типа азотистых оснований: аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г) и цитозин (Ц). Нуклеотиды соединяют азотистые основания одной половины спирали с другой, при этом соединяться могут только аденин с тимином и гуанин с цитозином. Таким образом, всего имеется четыре типа соединений:



т.е. четыре типа нуклеотидов. Чтобы закодировать четырьмя нуклеотидами 20 аминокислот, надо использовать последовательности, как минимум, из трёх нуклеотидов – такая тройка нуклеотидов называется *триплет*. (Так как двухбуквенных слов в нуклеотидном алфавите всего $4 \times 4 = 16$, то их недостаточно для кодирования 20-ти аминокислот; в то же время трёхбуквенных слов имеется $4 \times 4 \times 4 = 64$, что хватает с избытком.) Каждой из 20-ти аминокислот соответствует свой триплет нуклеотидов, т. е. все аминокислоты, участвующие в синтезе белков, закодированы своими триплетами; в настоящее время коды всех 20-ти аминокислот известны. Этот код является универсальным для всего живого на Земле.

Синтез белков происходит в цитоплазматических гранулах клетки – *рибосомах*. Туда переносятся небольшими порциями аминокислоты (с помощью транспортной *РНК*), а информация о том – какие аминокислоты и в какой последовательности должны соединяться – доставляется информационной *РНК*. Эту информацию *РНК* получает от *ДНК*, которая находится в ядре клетки. Передача информации от *ДНК* к *РНК* осуществляется мето-

дом «матричного копирования», которое протекает так. Вначале под действием ферментов спираль молекулы *ДНК* распадается на две половинки («раскручивается») и каждая половинка спирали «отпечатывает» комплементарную ей половинку на информационной *РНК* – этот процесс называется *транскрипцией*. В результате транскрипции из каждой половинки спирали молекулы *ДНК* получается «негатив». С этого негатива в рибосомах клетки происходит ещё одно копирование – *трансляция*, состоящая в том, что триплеты нуклеотидов заменяются соответствующими аминокислотами. Как только аминокислота включается в белок, *РНК* освобождается.

Говоря упрощенно, аминокислоты представляют собой «строительный материал», *ДНК* содержит всю «программу строительства», а переносчиками строительного материала и информации («агентами») являются молекулы *РНК*. Так строятся все организмы – от сине-зелёных водорослей до человека.

28.2. Организменный и органно-тканевый уровни

Дифференцированные клетки, объединённые в органы и функциональные системы, обеспечивают необходимые функции многоклеточного организма. В организме можно выделить три структурных уровня: *клеточный, тканевый, органный*. Ткань представляет собой совокупность однородных клеток (например, мышечная ткань, эпителий). Несколько органов, связанных между собой функционально и анатомически, образуют *оргannую систему*. Всякий организм представляет собой целостную систему, неразложимыми элементами которой являются клетки, а органы и системы органов образуют его подсистемы.

Органные системы можно разделить на *рабочие* и *управляющие*. К рабочим системам относятся: *пищеварительная, выделительная, сердечно-сосудистая, дыхательная, двигательная*. Управляющими системами являются *эндокринная* и *нервная*.

Связь между органами и клетками осуществляется через внутреннюю среду организма, состоящую из крови, лимфы и тканевой жидкости. Тканевая жидкость и лимфа представляют собой производные от плазмы крови и отличаются от нее концентрацией белков и некоторых других соединений. В теле взрослого человека имеется до 20 л тканевой жидкости, около 6 л плазмы и лимфы и около 6 л крови. У высших животных информационные связи осуществляются через центральную нервную систему кодом первичных импульсов и через кровь – кодом гормонов. Передача энергии и веществ идёт контактно – через кровь и посредством сокращения мышц внутренних органов.

Для синтеза белков в клетках, переноса питательных веществ, обеспечения теплового режима и механического движения организму требуется энергия. Извлечение энергии из поглощаемых организмом питательных веществ происходит при их расщеплении. При этом не вся извлекаемая энергия расходуется на «сиюминутные» нужды организма: часть ее запасается в форме химической энергии промежуточного соединения аденозинтрифосфата (АТФ). Он представляет собой один из видов нуклеиновых кислот с высокоэнергетическими связями, при разрыве которых освобождается необходимая организму энергия.

Важной особенностью живых организмов, отличающей их от объектов неживой природы, является то, что они отделены оболочками от окружающей среды. Такие оболочки обеспечивают пространственную целостность живых организмов и способствуют сохранению параметров их внутренней среды.

28.3. Популяционно-видовой уровень. Биоценозы

Рассмотрим теперь надорганизменные структурные уровни организации живого.

Популяция. Это – достаточно многочисленная совокупность особей определённого вида, которая в течение длительного времени (в течение жизни многих поколений) обитает на определённой территории, где происходит её жизнедеятельность. Число особей в популяции колеблется от нескольких сотен до сотен тысяч; длительное сосуществование сообщества крупных животных численностью менее чем несколько сотен, невозможно. Популяции характеризуются следующими основными чертами.

1. Для организмов, составляющих популяцию, типично не только совместное существование, но также единообразие в приспособлении к среде и морфологическая общность.

2. Каждая популяция характеризуется периодическими колебаниями численности, плотности населения, соотношения возрастных групп, а также уровнем рождаемости и смертности.

3. Популяция представляет собой целостное образование. Целостность популяции обеспечивается информационными связями между особями, координирующими свои действия в единую организованную систему. Выпадение из популяции хотя бы одного звена приводит к нарушению всей её организации.

4. Популяция отличается устойчивостью, которая достигается за счёт сложности её структуры. Как правило, по своей структуре популяция неоднородна и состоит из групп, находящихся в отношении соподчинения. Таким образом, структура популяции имеет иерархический характер.

Популяция представляет собой ту элементарную ячейку, которая является основой существования вида: именно в пределах популяции происходит выживание вида, протекает его жизнедеятельность и воспроизведение. В популяции реализуется эффект объединения отдельных особей в единую систему – эффект группы. Он состоит в изменениях физиологических процессов, ведущих к повышению жизнеспособности при совместном существовании. Эффект группы проявляется в ускорении темпов роста животных, повышении плодовитости и средней продолжительности жизни членов популяции, более быстром образовании условных рефлексов. Например, объединенные в стаю волки, способны убить более крупную добычу, чем, действуя в одиночку. Бизоны успешнее обороняются от хищников, если они объединены в стада. В то же время популяция не должна быть слишком малочисленной. Так, в стаде африканских слонов должно быть не менее 25 особей, а стадо северного оленя должно насчитывать не менее 300 голов.

Виды. Они состоят из большого числа популяций. Биологически вид характеризуется тем, что скрещивание организмов происходит только в пределах одного вида. В теории Ч. Дарвина вид выступает в качестве основной эволюционирующей единицы. Каким же образом целый биологический вид приспособливается к изменениям окружающей среды? Это происходит за счёт двух факторов: плодовитости и мутаций. По мере смены поколений и изменения условий окружающей среды некоторые свойства организмов меняются случайным образом. Механизм видовой адаптации действует так: особи, у которых изменения важного для существования свойства направлены в отрицательную сторону, погибают чаще, чем особи, у которых эти изменения направляются в положительную сторону. Через несколько поколений вид будет состоять из особей, у которых изменения произошли в благоприятном направлении. Таким образом, вид в целом имеет тенденцию к адаптации, постепенно изменяя свойства своих представителей в направлении большей приспособленности к условиям окружающей среды. Вид как бы обучается на основе механизма обратной связи. В животном мире этот процесс называется *естественным отбором*.

Дарвин рассматривал в качестве эволюционирующей единицы биологический вид. Во второй половине XX века было установлено, что *наименьшая структурная единица живого, способная к эволюции, – это популяция*. В то же время, отдельно взятый организм не может эволюционировать: его генотип определён в момент зарождения и в течение жизни не меняется. Вклад отдельного организма в эволюцию состоит в том, чтобы передать гены своим потомкам.

При этом реализация генотипа зависит от той среды и тех условий, в которых организм развивается. Результатом «расшифровки» генотипа в конкретных условиях среды является *фенотип*. Таким образом, генотип –

это то, что было «заложено природой», а фенотип – то, что «получилось фактически» в процессе взаимодействия генотипа и среды. Поэтому организмы, тождественные по своему генотипу (однойцевые близнецы), получают различными по фенотипу. Все клинически определяемые признаки человека (рост, масса тела, форма и цвет глаз, структура и цвет волос, группа крови, резус-фактор); анатомические признаки (строение тела, взаимное расположение органов); биохимические признаки (структура белка, концентрация глюкозы в крови и т. п.) являются фенотипическими.

Одно время считалось, что при формировании признаков организма существует некоторая пропорция между генотипом и средой. Дальнейшие исследования показали, что это не так. Генотип определяет лишь «предрасположенность» к тому или иному качеству, а степень его развития определяется средой. Гены весьма стабильны и передаются из поколения в поколение, «не разбавляясь». Однако наличие в генотипе какого-либо гена еще не означает, что он проявится в фенотипе, даже если этот ген является доминантным.

Биоценозы. Это сообщества, состоящие из популяций разных биологических видов, длительное время совместно обитающих на определённой территории. Биоценоз представляет собой единый комплекс, в состав которого входят растения и животные разных видов, а также микроорганизмы, связанные между собой единством ареала существования и общей жизнедеятельностью. Для биоценозов важную роль играет тип отношений, возникающих между популяциями, входящими в его состав. Это может быть *сосуществование* (различные виды не питаются одной пищей и не поедают друг друга); *конкуренция* (например, когда различные виды имеют общие источники питания); отношение типа «хищник – жертва» (один вид питается другим); *симбиоз* (совместная жизнедеятельность организмов, приносящая обоюдную пользу); *паразитизм* (один вид питается за счёт другого). Под *биогеоценозом* понимается участок земной поверхности, который рассматривается как единый комплекс относительно состава и жизнедеятельности обитающих на нём организмов и происходящих природно-климатических процессов. Понятие биогеоценоза было введено академиком В. Н. Сукачёвым в 1940 г. Биогеоценоз рассматривается как биоценоз вместе с абиотическими факторами (почвенными, климатическими, топографическими) и физико-географическими процессами среды обитания. Биогеоценоз есть целостная система, способная к самостоятельному существованию и развитию. Вместе с тем, это – открытая система, которая нуждается в поступлении извне вещества и энергии. Отдельные биогеоценозы связаны между собой потоками энергии и вещества (стоки воды с минеральными и органическими веществами, перемешивания воздушных масс, перемещения микроорганизмов, миграции растений и животных).

Существенной стороной процесса формирования биогеоценозов является возникающая между ними конкуренция. В этом соревновании «за место под Солнцем» побеждают более сложные биогеоценозы, то есть такие, в которых большее количество внутренних биотических связей и более полное разделение труда между его членами.

28.4. Биосферный уровень организации живой материи

Биосфера представляет собой самый высокий уровень организации жизни на Земле.

- Термин «биосфера» был введён в 1875 г. австрийским геологом Эдуардом Зюссом. Он понимал под биосферой совокупность всех живых организмов на Земле. Учение о биосфере было создано В. И. Вернадским. Вернадский развил представление о биосфере как о системе биогеохимических циклов, основной движущей силой которых является активность живых организмов («живого вещества»).

Биосфера – это область распространения жизни. По своему составу она включает живые организмы, продукты их жизнедеятельность, а также элементы неживой природы – вещества, вовлечённые в биотический круговорот. Биосфера – целостная система, составными элементами которой являются биогеоценозы. Целостность биосферы осуществляется за счёт вещественных, энергетических и информационных связей между биогеоценозами, а также за счёт биогенной миграции атомов. Электромагнитные поля биосферы несут информацию организмам, обеспечивающую согласование ритмов их жизнедеятельности с периодическими вариациями геофизических факторов.

Биосфера соприкасается с тремя сферами Земли: *атмосферой*, *гидросферой* и *литосферой*. Все эти три оболочки объединены деятельностью живых организмов в единую систему, связанную обменом энергии и веществом. Верхняя граница биосферы простирается до 20–22 км над поверхностью Земли – на такую высоту заносятся микроорганизмы восходящими потоками воздуха. Выше этого слоя мощное ультрафиолетовое излучение убивает всё живое. В океанах (гидросфера) нижняя граница биосферы определяется глубиной впадин (свыше 10 км). В твёрдой оболочке Земли (литосфере) зону жизни ограничивают высокие температуры; реальной границей считается глубина в 3–5 км. Таким образом, биосфера охватывает кольцом всю земную поверхность; толщина этого кольца неодинакова и составляет от 20 до 30 км.

Живые организмы определяют миграцию элементов из литосферы в гидросферу и почву, а также обмен элементами между гидросферой и атмосферой. Ежегодно на Земле образуется $4 \cdot 10^{11}$ т органического вещества. При этом постоянно происходит переход химических элементов из одних соединений в другие, из почвы в живые организмы, а также расщепление

живых организмов на неорганические соединения и их возвращение в состав земной коры (биологические циклы). Из известных химических элементов сорок вовлечено живыми существами в активный круговорот (углерод, азот, кислород, водород, сера, железо, калий, кремний, магний и др.).

- Например, биогеохимический цикл углерода схематически происходит следующим образом. Растения усваивают углекислый газ из атмосферы и превращают его в углеводы, часть которых идёт на строительство их органов. При питании растениями углерод переходит в животных, где окисляется при дыхании. В результате процесса гниения углерод освобождается из растительных и животных тканей и попадает в среду в виде углекислого газа. Анаэробное разложение организмов приводит к образованию угля, торфа и нефти. При сгорании они выделяют в атмосферу углекислый газ. Круг замкнулся.

Важную роль в биогеохимических циклах природы играют бактерии. В частности, значительная часть преобразований химических элементов в биосфере производится хемосинтезирующими бактериями (явление хемосинтеза). Залежи железа, серы, марганца на дне океанов, алюминия, газов и минеральных вод являются результатом жизнедеятельности бактерий-хемосинтетиков.

Вернадским были сформулированы три концепции биосферы [5, 15]. *Биогеохимическая концепция* связана с комплексом преобразований веществ, сосредоточенных в живых организмах Земли. Эти преобразования происходят за счёт энергии Солнца.

Биогеоценотическая концепция основана на том, что структурными единицами биосферы являются биогеоценозы, состоящие из организмов с разным типом обмена веществ. Поэтому все закономерности биогеоценозов присущи также и биосфере. Согласно Вернадскому, все организмы Земли составляют единое целое – живое вещество планеты.

Социальная концепция биосферы рассматривает способы преобразования биосферы и превращения её в *ноосферу* – сферу разума.

Биосфера в целом исключительно устойчива и сбалансирована. Каждый вид организмов представляет собой звено, играющее в ней определённую роль. Продукты распада одних организмов являются средством существования других. Жизнедеятельность разных организмов тесно связана между собой. Например, микроорганизмы минерализуют органические остатки растений и животных, превращая их в минеральные соли или соединения, используемые другими животными и растениями. Хотя видовой состав обитателей биосферы постепенно меняется, их совместная деятельность поддерживает биохимический режим, необходимый для существования жизни. Несмотря на неоднократно происходившие в геологической истории Земли изменения климата, крупные катастрофы, кризисы вымирания многих видов, перестройки атмосферы – биосфера сохранила условия,

необходимые для жизни. Это свидетельствует о том, что возможности гомеостаза у биосферы весьма велики.

Заключение о динамическом равновесии вещественно-энергетических показателей биосферы было сделано Вернадским более полувека назад. Он показал, что за всё время существования биосферы неизменными являлись её масса (порядка 10^{19} т), масса живого вещества (порядка 10^{15} т), энергия, связанная с живым веществом, средний химический состав. С момента зарождения жизни происходит непрерывный круговорот вещества, энергии и информации; этот круговорот и обеспечил всё разнообразие жизни. Как сказал гениальный У. Шекспир: «Экономична мудрость бытия: всё новое в нём шьётся из старья».

Тема 29. Концепции сущности жизни

Основные вопросы:

- 29.1. *Проблема сущности жизни.*
- 29.2. *Системно-кибернетические подходы к изучению биологической организации.*
- 29.3. *Биосферная концепция организации жизни.*
- 29.4. *Проблема целесообразности в природе.*

29.1. Проблема сущности жизни

Имеется ряд кардинальных вопросов, с разрешением которых связана проблема сущности жизни. Например:

- *Каковы критерии живого?*
- *В чём секрет витальности?*
- *На каком уровне сложности начинается живое?*
- *В чём состоит специфика биологической организации и каковы её истоки?*

Современная наука ещё далека от полного ответа на эти вопросы. Например, говоря о критериях живого, биология отмечает такие очевидные его свойства, как обмен веществ, способность к воспроизведению, способность к саморегуляции в изменяющихся условиях среды, способность к развитию, способность к эволюции. Однако, как утверждают биологи [16], у живых организмов нет ни одного признака, присущего только живому, и единственный способ определить, *что такое жизнь*, – это перечислить все её свойства. Но такое сложное явление, как жизнь, вряд ли может быть охарактеризовано «до конца» каким-то конечным набором свойств.

Многokратно предпринимались попытки найти объяснение функции жизни в специфических особенностях живой клетки. Однако исследования

показали, что ничего специфического в ней нет: в клетке содержатся те же химические элементы, что и в неживых объектах. Даже уникальная упорядоченность биополимеров в чисто физическом отношении является весьма незначительной. Например, понижение энтропии организма человека, связанное с упорядоченностью всех молекул белков и ДНК составляет всего 300 кал/град, что может быть компенсировано испарением 170 см³ воды (см. [5]). Подобные факты привели известного биофизика Л. А. Блюменфельда к следующему принципиальному выводу: *не существует принципиальных физических отличий живой материи от неживой и поэтому физических критериев живого предложить нельзя.*

Многие биологи считают, что

- *свойства живого в полной мере проявляются в отдельном организме;*
- *элементарной единицей жизни является клетка;*
- *специфика живого связана с особой упорядоченностью биологических структур.*

Однако отдельно взятую клетку нельзя рассматривать как автономную систему: всякая клетка является тем, что она есть, лишь благодаря её взаимосвязям со всеми остальными клетками тела. То же можно сказать и об отдельно взятом организме. Как подчёркивал В.И. Вернадский, «организм, удалённый из биосферы, есть не реальное, есть отвлечённое логическое построение: жизнь и все живые организмы являются неразрывной закономерной частью биосферы».

Одно время успехи молекулярной биологии внушали надежды на то, что основа биологической организованности заключена в особенностях физической структуры молекул ДНК – тогда законы возникновения и эволюции жизни могли быть сведены к физическим процессам. Но эти надежды оказались иллюзиями. В связи со сказанным, уместно напомнить горькие признания выдающегося биохимика, Нобелевского лауреата Альберта Сент-Дьердьи в том, что, стремясь понять суть жизни, он спускался по лестнице познания от организма к клетке, от клетки к её ядру, от ядра к молекуле, а затем и далее – к атому, и на этом пути сама жизнь просочилась у него сквозь пальцы.

29.2. Системно-кибернетические подходы к изучению биологической организации

В настоящее время общие принципы организации биосистем базируются на кибернетических подходах. Ещё в 1927 г. основатель общей теории систем Людвиг фон Берталанфи постулировал иерархический порядок организации живой природы, состоящий в том, что каждая система – комплекс взаимодействующих элементов – является компонентом системы

более высокого уровня: молекулы в клетке, клетки в тканях, ткани в органах, органы в организмах, организмы в сообществах.

В рамках кибернетического подхода на первый план выступают не вещественно-энергетические, а информационные взаимодействия. Вообще говоря, воспринимать, хранить и передавать информацию могут и неживые объекты. Однако у них происходит лишь энергоинформационный обмен. Живые системы обладают также способностью накапливать, перерабатывать и использовать полученную информацию. В последнее время было установлено, что при регуляции процессов в биосфере существенную роль в информационных взаимодействиях её подсистем играют электромагнитные поля. С кибернетической точки зрения жизнь представляет собой взаимодействие биосистем разного уровня сложности, находящихся в иерархическом отношении соподчинения. Иерархичность означает, что система каждого уровня включается в систему более высокого уровня в качестве её подсистемы. При этом имеет место несводимость свойств системы более высокого уровня к свойствам систем низших уровней (*эффект эмерджентности*). Именно поэтому даже доскональное знание, например, свойств молекул не даёт возможности понять все закономерности функционирования клетки, а знания устройства и функционирования отдельных органов ещё недостаточно для понимания функционирования организма. Отметим другие важнейшие свойства живых систем, носящие системно-кибернетический характер.

- Живым существам присущ особый способ взаимодействия с окружающей средой – обмен веществ. В отличие от процессов обмена веществ, происходящих в неживой природе (состоящих, в основном, из переноса веществ и изменения их агрегатного состояния), в живой природе круговорот веществ протекает в форме их синтеза и распада – *ассимиляции* и *диссимиляции*. Ассимиляция состоит в поглощении различных веществ из окружающей среды и их преобразовании на химическом уровне в вещества, свойственные данному организму. Диссимиляция представляет собой распад сложных органических соединений на простые. В результате ассимиляции происходит образование и обновление структур организма, а в результате диссимиляции – расщепление органических соединений для обеспечения жизнедеятельности, а также выделение некоторых продуктов распада во внешнюю среду. Таким образом, по отношению к окружающей среде организм является *открытой системой*.
- Живой организм отличается высокой степенью упорядоченности и, следовательно, низкой энтропией. Согласно второму закону термодинамики в энергетически изолированной системе количество энтропии увеличивается, достигая максимума в состоянии равновесия. В живых системах этого не происходит ввиду постоянного притока

энергии и информации, используемой на поддержание их внутренней структуры.

- Жизнь представляет собой постоянный процесс самообновления, в результате которого воссоздаются структуры, аналогичные снашиваемым и утрачиваемым. Это достигается благодаря использованию живыми организмами генетической информации, которая хранится в наследственном веществе клеток.
- Важнейшим свойством живых организмов является их способность к самовоспроизведению. По-видимому, эта способность возникла на базе элементарных форм отбора.

Выдающийся американский математик Джон фон Нейман попытался решить средствами математической кибернетики проблему самовоспроизведения автоматов. Оказалось, что способность к самовоспроизведению является функцией сложности: существует некоторый уровень сложности автоматов, ниже которого автомат может воспроизводить лишь автоматы меньшей сложности, что через несколько поколений приводит к вырождению. Однако при преодолении этого уровня возможно возникновение самовоспроизведения, при котором автоматы создают другие автоматы с повышающимся уровнем сложности. Таким образом, теория автоматов показывает принципиальную возможность возникновения самовоспроизведения на основе прогрессирующего усложнения организации.

- Организмы обладают способностью к регулированию своих параметров в изменяющихся условиях среды (гомеостаз). Эта способность связана с наличием механизмов регистрации внешней информации, её анализом, выработкой решений по содержанию и интенсивности ответных реакций. Таким образом, живой организм можно рассматривать как кибернетическое устройство, перерабатывающее поступающую на вход информацию и вырабатывающее ответные реакции.

Существуют также такие особенности, распространяющиеся на область жизни в целом, которые связаны с её существованием в пространстве и во времени. Одна из таких особенностей – включенность организмов в процесс эволюции. Благодаря этому, жизнь как особое явление материального мира сохраняется на протяжении более трех с половиной миллиардов лет.

29.3. 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 (см. [5]): «Го-

вора 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 (см. [11]).

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 [17] 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 взаимодействия 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 посредниче-

ской 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 системы; 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, см. тему 25, вопрос 4), 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.

Эволюцию органического мира и всей жизни Вернадский неизменно связывал с эволюцией биосферы, считая, что ни жизнь, ни эволюция её форм не могут быть независимыми от биосферы, не могут быть ей противопоставлены как независимо от неё существующие природные сущности. По мнению Вернадского, количество живого вещества является планетной константой со времени архейской эпохи. При этом в пределах живого вещества происходили только перегруппировки химических элементов, а не

коренные изменения их состава и количества. Другими словами, происходила эволюция организованности биосферы приведшая к тому, что за истекший период времени морфологически живой мир изменился до неузнаваемости.

Согласно Вернадскому, образование первичной биосферы происходило в соответствии со сформулированным им *первым биогеохимическим принципом: Биогенная миграция химических элементов в биосфере стремится к максимальному своему проявлению.*

На этом этапе возникает комплекс одноклеточных организмов, способных не только существовать и воспроизводиться в окружающей среде, но также и преобразовывать её – выполнять все геохимические функции. Одним из важных свойств этого комплекса является огромная скорость размножения. В результате в живое вещество вовлекается максимально возможное количество химических элементов неживой природы. С этого времени общая масса живого вещества в биосфере и его средний химический состав считаются неизменными.

В дальнейшем ходе эволюции биосферы действует *второй биогеохимический принцип Вернадского: эволюция видов, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, должна идти в направлении, увеличивающем проявление биогенной миграции атомов в биосфере.*

Теперь возрастание миграции химических элементов происходит за счёт увеличения скорости «оборачиваемости» этих элементов через живые организмы.

Современная биосфера представляет собой сложную многокомпонентную систему. Она включает в себя три основных компоненты:

- *совокупность живых организмов;*
- *минеральные вещества, включённые в биотический круговорот;*
- *продукты жизнедеятельности организмов.*

Биомасса Земли распределена неравномерно. Так, хотя мировой океан занимает более 70% земной поверхности, его биомасса составляет всего 0,13 % всей биомассы живых организмов. Таким образом, биомасса суши превышает биомассу океана примерно в 770 раз. Основная масса живого вещества планеты сосредоточена в сухопутных растениях (в лесах). При этом на континентах преобладают растения, а в океане – животные.

Флора и фауна распределена на Земле также крайне неравномерно. Например, влажные тропические леса покрывают всего 6% поверхности Земли, однако в них сосредоточено более половины всех видов животных и около 2/3 цветковых растений.

Что касается видового разнообразия – животный мир более разнообразен, чем растительный. По современным оценкам насчитывается около 1,5 млн видов животных (из них 3/4 составляют членистоногие, в частности, насекомые) и 0,5 млн видов растений (из них более 50% видов прихо-

дится на долю покрытосеменных). Соотношение численности различных видов в современной биосфере не случайно. Ещё Чарльз Дарвин обращал внимание на тесную взаимосвязь в развитии покрытосеменных и насекомых. Рекордные показатели их видового разнообразия есть итог взаимосвязанной эволюции. В течение последних тысячелетий в пределах биосферы возникла *антропосфера* – сфера активного влияния цивилизации на окружающую среду.

29.4. Проблема целесообразности в природе

Ещё с древних времён людей восхищала удивительная целесообразность, царящая в природе, присущая ей гармония. Целесообразность проявляется как в каждом отдельном организме (выражаясь в соответствии строения органов их функциям), так и в природных комплексах и во всей природе в целом. Каждое сообщество организмов занимает в системе природы свое место и играет в ней вполне определённую роль. Поразительна сложность структур и механизмов функционирования живых организмов. Можно сформулировать три главных вопроса, касающихся целесообразности и порядка в органическом мире:

- *Каковы движущие силы эволюции?*
- *Почему непрерывно возрастает сложность и дифференциация живых организмов?*
- *В чём причины удивительной целесообразности в природе?*

Первые ответы на эти вопросы были даны философами Древней Греции и носили телеологический характер (телеология – концепция, считающая, что всё происходящее в мире является осуществлением заранее предопределённых целей).

Сократ считал, что мир устроен по предначертанному божественным разумом плану.

Согласно Платону, порядок и совершенство в мире порождены идеей. Организующее, упорядочивающее начало представляет собой некоторую цель, находящуюся вне мира материальных вещей.

Аристотель выдвинул учение о внутренней целесообразности. Согласно Аристотелю, каждая вещь содержит в себе изначальную внутреннюю цель своего существования.

В дальнейшем, вплоть до середины XIX века объяснения целесообразности органического мира, его сложности и совершенства также носили телеологический характер. При этом происходила либо прямая апелляция к высшей силе, осуществлением целей которой является органический мир (трансцендентная телеология), либо цель предполагалась изначальным образом заложеной в сами происходящие процессы (имманентная телеология). Например, автор первой теории эволюции – французский биолог Ж.-Б. Ла-

марк – в качестве основного фактора эволюции считал врождённую тенденцию к самосовершенствованию.

Важнейшим шагом на пути к разрешению великой загадки, объясняющей целесообразность и совершенство природы, стала теория эволюции Чарльза Дарвина, основной труд которого «Происхождение видов» вышел в свет в 1859 г. По Дарвину основу эволюции растительного и животного мира составляют три фактора: *изменчивость*, *наследственность* и *естественный отбор*. Изменчивость организмов возникает под воздействием окружающей среды. Но далеко не всякое изменение условий окружающей среды приводит к изменению организмов. Чтобы изменения коснулись всех потомков данного индивида, необходимо чтобы они вошли в наследственный код организма. Такие изменения наследственного механизма называются *мутациями*. Мутации организма могут быть получены как естественным, так и искусственным способом (например, под влиянием жёсткой радиации). Мутации приводят к появлению потомков с совершенно новыми признаками, которые в дальнейшем передаются по наследству. Наконец, естественный отбор «отбирает» организмы с полезными признаками.

Для реальных процессов видообразования важно, что естественный отбор происходит не из случайных хаотически появляющихся признаков, а он ведётся из готовых форм, из уже сложившихся в организмах структур. Например, объяснение того, что все позвоночные имеют четыре конечности, состоит в том, что эти конечности образовались из четырех плавников далекого предшественника позвоночных – кистеперой рыбы. Именно из направляющей роли внутренних, уже сложившихся факторов следует, что даже после отбора может остаться множество нейтральных признаков, то есть таких, которые не имеют никакого значения для выживания или адаптации к окружающей среде.

По характеристике Г. Гельмгольца, теория Дарвина включает в себе существенно новую творческую идею. Она показывает, что целесообразность в строении организмов могла возникнуть без вмешательства разума, в силу самого действия одних естественных законов. Именно Дарвину принадлежит заслуга в материалистическом объяснении органической целесообразности.

- В дарвиновской теории эволюции есть ряд слабых мест, что дало основание нападкам на неё с момента её зарождения и до настоящего времени (см. например изданную 12-миллионным тиражом книгу с характерным названием: Харун Яхья. Крах теории эволюции. Стамбул : Культура, 2002). В частности, дарвиновский механизм видообразования предполагает большое число переходных форм от одного вида к другому. Между тем, данные палеоботаники свидетельствуют о том, что виды существовали сотни миллионов лет без каких-либо изменений. Одни виды вымирали, другие появлялись, однако никаких переходных форм не

обнаружено. Некоторые биологи считают, что новые виды возникают сразу (скачком) и поэтому промежуточных форм просто не существует.

Ряд палеонтологов из США (Гоулд, Элдридж, Стэнли) выдвинули концепцию взрыва видообразования. При исследовании ископаемых останков оказалось, что имелись периоды, в которые у существующих видов животных в течение миллионов лет не происходит никаких изменений, а затем на протяжении 100–200 тысяч лет вдруг начинаются резкие изменения. Подобные взрывы в истории развития животного мира имели место (например, появление скелета у животных в кембрийский период). Американский палеонтолог Валентайн предположил, что такие взрывообразные события в эволюции связаны с генетическими причинами, к числу которых он относил подвижные генетические элементы.

Ещё одно слабое место в теории Дарвина – её нестыковка с представлениями о наследственности. Действительно, если эволюция связана со случайным появлением новых признаков и их наследственной передачей, то каким образом они усиливаются в дальнейшем? Ведь в результате скрещивания новые признаки должны ослабляться. Сам Дарвин признавал эту критику убедительной.

Современная теория эволюции значительно отличается от теории Дарвина. Большой вклад в развитие дарвинизма внесла генетика (хотя на начальном этапе своего существования она рассматривалась как наука, противоречащая дарвинизму). В 1926 г. С. С. Четвериков заложил основы *популяционной генетики*, согласно которой отбору подвергаются не отдельные признаки или отдельные особи, а генотип всей популяции. Включение генетики, а также молекулярной биологии в теорию эволюции послужило ей надёжным фундаментом и привело в итоге к созданию новой – *синтетической теории эволюции*.

Теперь дадим ответы на поставленные выше вопросы.

Первый вопрос – *о движущих силах эволюции*. Краткий ответ на этот вопрос таков: движущей силой эволюции является никогда не затухающее противоречие между фактически безграничной способностью живых организмов к воспроизведению и ограниченностью ресурсов внешней среды.

Второй вопрос – *о непрерывно возрастающей сложности органического мира*. Объяснений этого феномена кроется в иерархическом характере живой материи, проявляющемся как в её структуре, так и способе управления. Любая живая система состоит из подсистем более низкого уровня сложности, те, в свою очередь, – из подсистем ещё более низкого уровня и т.д. Все эти подсистемы связаны между собой управляющими каналами и каналами передачи информации. При этом управление в организме не является слишком жёстким, приобретая тем самым характер регулирования. Для живых систем их эффективное регулирование использует способности к саморегуляции всех входящих в них подсистем, накопленные ещё на ступени одноклеточных. В целом имеется хорошо прослеживаемая аналогия между увеличением сложности живых и технических систем: и для тех, и для других объяснение кроется в их иерархическом характере.

Наконец, третий вопрос – *о целесообразности в природе, её совершенстве*. Объяснение этого феномена заключено в направленности эволюции, которая «приспосабливает» организмы к изменяющимся условиям внешней среды.

В природе происходит постоянная борьба за существование. Она бывает *межвидовой* (при которой успех одного вида означает поражение другого), *внутривидовой* и *борьбой с неблагоприятными условиями внешней среды*. Механизм естественного отбора основан на том, что особи, наследственные признаки которых меньше соответствуют условиям среды, оставляют меньше потомства и через несколько поколений вымирают. Остаются те, наследственные признаки которых лучше соответствуют условиям среды. При этом естественный отбор имеет многоступенчатый характер: среда выбирает – какие из возможностей организма осуществляются; биогеоценоз определяет – каким генотипам дальше развиваться; биосфера «отбирает» наиболее совершенные биогеоценозы.

Таким образом, естественный отбор носит двойственный характер. С одной стороны, он невероятно развивает способности организмов к адаптации в изменяющихся условиях среды, а с другой – приводит к гибели огромного числа организмов и целых видов. Многократно происходившие в геологической истории Земли изменения жизненных условий привели к тому, что те виды, которые сумели приспособиться к новым условиям существования, оставались, а те, которые не смогли, – исчезали. И таких исчезнувших видов в истории жизни на Земле насчитывается около 500 млн (в настоящее время на Земле имеется около 2 млн видов живых существ, из которых 1,5 млн видов животных и 0,5 млн видов растений). Итак, *совершенство органического мира достигнуто ценой вымирания сотен миллионов видов, а сохранение вида достигается ценой гибели подавляющей доли его представителей*.

Эволюция жизни в целом представляет собой непрерывную последовательность процессов, каждый из которых реализовывался в результате огромного числа попыток. Природа как бы пробовала очень большое число вариантов, большая часть которых вело к тупикам. Лишь малая часть потенциальных организмов получила приз, название которого – жизнь. Живут те, кто смогли приспособиться к изменяющимся условиям среды и победить конкурентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ПЯТОМУ РАЗДЕЛУ

1. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. М. : Наука, 1987.
2. Камшилов М. М. Эволюция биосферы. М. : Наука, 1974.
3. Калвин М. Химическая эволюция. М. : Мир, 1971.
4. Пантин В. И. Циклы и ритмы истории. Рязань : Аракс, 1996.
5. Пресман А. С. Идеи В. И. Вернадского в современной биологии. М. : Знание, 1976.
6. Борель Э. Вероятность и достоверность. М. : Наука, 1969.
7. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М. : Мир, 1973.
8. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М. : Наука, 1979.
9. Брайсон Б. Краткая история почти всего на свете / пер. с англ. М. : Гелеос, 2007.
10. Войткевич Г. В. Возникновение и развитие жизни на Земле. М. : Наука, 1988.
11. Резанов И. А. Великие катастрофы в истории Земли. М. : Наука, 1989.
12. Будыко М. И. Путешествие во времени. М. : Наука, 1990.
13. Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И. Уставы небес. М. : Айрис Пресс, 2004.
14. Кремянский В. И. Структурные уровни живой материи. М. : Наука, 1969.
15. Вернадский В. И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М. : Наука, 1975.
16. Кемп П., Армс К. Введение в биологию. М. : Мир, 1988.
17. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и природа симметрии. М. : Мысль, 1974.

Раздел шестой

**Методологические аспекты
современного естествознания**

Тема 30. Наука в контексте культуры

Основные вопросы:

- 30.1. Основные составляющие культуры.*
- 30.2. Многоплановость науки и характер ее развития.*
- 30.3. Процессы дифференциации и интеграции научного знания.*
- 30.4. Специфика научного знания.*
- 30.5. Естественнонаучная и гуманитарная культуры.*

30.1. Основные составляющие культуры

Наука есть исторически сложившаяся и непрерывно развивающаяся на основе общественной практики система знаний о природе, обществе и человеке. Она сформировалась в ходе многовековой познавательной деятельности человечества, являясь закономерным итогом развития цивилизации. Вместе с тем, современная цивилизация невозможна без науки. Наука есть один из способов познания, постижения окружающего мира – наряду с философией, религией и искусством, образующими в совокупности интеллектуальный базис человеческой культуры. Общим для всех перечисленных форм познания является то, что все они представляют собой отражение материального мира в сознании человека. При этом каждая из указанных составляющих культуры имеют свои характерные черты и особенности.

Религия является фантастическим отражением окружающего мира в мозгу человека, основанным на вере в сверхъестественные силы. Религия создает мир трансцендентного знания, в котором ведущей является идея взаимоотношений человека и Бога. По своей сущности религия представляет собой отражение мира в иллюзорных образах, представлениях и понятиях, искажая тем самым реальные сущности природы.

Философия рассматривает фундаментальные проблемы бытия: что представляет собой окружающий человека мир, каково место человека в этом мире. В философии существуют две основные проблемы, решение которых определяет основные направления философии. Первая проблема: *Что есть реальность? (онтологическая проблема или проблема бытия)* и

вторая проблема: *Как познать реальность (гносеологическая проблема или проблема познания)*. Хотя философия отделена от естественных наук, к ней приходится обращаться при решении фундаментальных проблем естествознания. А науки об обществе и человеке в значительной степени опираются на философские идеи и принципы. Философия не сводится к сумме знаний частных наук, изучающих конкретные виды движения материи. Ее основной задачей является формирование целостного мировоззрения и разработка методологии научного знания.

Как и религия, философия выросла из мифологии. Но с самого начала она выступала не просто как область духовной культуры, отделившаяся от мифологии, а как ее конкурент. Философия возникает тогда, когда объем накопившегося в культуре знания вырастает настолько, что уже не вмещается в мифологическую оболочку и вступает в противоречие с общественной практикой. В отличие от мифологии, философия объясняет мир не в наглядных образах, а в рамках абстрактных понятий, опираясь при этом не на авторитеты, а на логику. На смену коллективным представлениям, выражаемым в мифах, приходят попытки разобраться в устройстве мира силами собственного разума [1].

Искусство отражает действительность в художественных образах. Художественный образ есть созданное автором искусственное целостное представление, выражающее как содержание познаваемого явления, так и отношение к нему автора. Из их синтеза и рождается художественный образ, представляющий собой новое целостное единство. Объектом искусства является все сущее, но при обязательной соотнесенности с личностью познающего. Психологической основой искусства служат субъективные переживания авторов создаваемых художественных произведений.

В отличие от искусства, наука стремится к объективному знанию, независимому от создающего его субъекта. Поэтому научное знание формируется на проверяемых и воспроизводимых экспериментах, результаты которых обрабатываются на базе логики и математики. Наука отражает реальный мир в форме положений, сформулированных в виде законов, теорий или научных гипотез. Характерными особенностями научного знания являются системность, рациональность, доказательность, фундаментальность (см. тему 1, вопрос 4).

Наряду с «нормальной» наукой, параллельно с ней существуют и развиваются многочисленные разновидности «окультурных» наук (астрология, алхимия, парапсихология, магия, экстрасенсорика, эзотерика, теория торсионных полей и др.). В целом их можно определить как совокупность воззрений, верований и знаний о таинственных силах и свойствах природы, в основе которых лежит мистика. С наукой оккультизм сближает стремление проникнуть в суть вещей и постичь глубочайшие тайны мироздания и человеческой души, а также построить целостное мировоззре-

ние. При этом оккультизм в качестве исходного пункта всего сущего признает божественное начало, что сближает его с религией. Главным источником познания оккультизм считает откровение. В качестве основного метода познания представители оккультизма чаще всего используют аналогию, которая предоставляет широкие возможности для создания мистических фантазмагорий.

В ходе исторического развития человеческого общества постоянно возникало преобладание одних областей культуры над другими. В донаучную эру ведущей формой общественного сознания была мифология – совокупность мифов, в которых в олицетворенной наглядно-образной и бессознательно-художественной форме отражены явления природы и общества. В мифах причудливо соединялись элементы реалистических знаний о действительности, вымысел, художественные образы, нравственные предписания и нормы, а также зародыши религиозных представлений. Наиболее распространенными являлись сказания о возникновении и эволюции мира, Солнца, луны, звезд (космогония); о происхождении животных и человека; о всемирном потопе и т. п. Основой мифологического знания служат не понятия, а символы и образы, для которых возможны любые превращения (метаморфозы). Мифологическое знание является субъективным отражением переживаний людей под воздействием природы. Однако при всем этом мифологическое мышление использует определенные познания (главным образом, из области ботаники, зоологии, медицины). По мнению известного антрополога и этнографа К. Леви-Стросса, мифологическое мышление обладает своей логикой и дает человеку определенное чувство комфортности в мире. На начальных этапах развития человечества мифологическое знание имело определяющее значение в плане передачи жизненно важной информации от поколения к поколению, обеспечивая тем самым стабильность общества.

Религия исторически вырастает из мифологии и сохраняет многие ее черты. В дальнейшем она отделяется от мифологических верований и становится самостоятельной культурной формой. Подобно религии, в недрах мифологического сознания зарождаются и искусство, и наука [2].

В эпоху Античности все отрасли научного знания, а также философия, были слиты воедино (синкретическое знание). В Средние века идеология, философия и наука находилась под властью религии. В эпоху Возрождения наука постепенно освобождается от религиозных пут, при этом главную роль в мировоззрении начинает играть философия. В XVIII, XIX и, особенно, в XX веках в связи с успехами естествознания наука неуклонно завоевывает ведущие позиции в культуре и мировоззрении. Этот процесс продолжается по настоящее время.

С точки зрения системного подхода наука представляет собой открытую систему, для которой в качестве среды выступают другие состав-

ляющие культуры, а также общество. Наука связана со средой сложной сетью прямых и обратных связей. При этом развитие науки в значительной степени определяется тем, насколько культура и общество восприимчивы к ее идеям.

30.2. Многоплановость науки и характер ее развития

Понятие науки является весьма сложным и многоплановым. Науку можно рассматривать в разных аспектах:

- *как форму общественного сознания;*
- *как знания и деятельность по их производству;*
- *как социальный институт;*
- *как составную часть производительной силы общества;*
- *как информационный процесс.*

На протяжении длительной истории развития человечества указанные аспекты науки в разное время возникали и по-разному проявляли свою интенсивность. Зародившись в древнем мире в связи с потребностями общественной практики, наука в современном смысле слова начала складываться в XVI–XVII вв. и в ходе исторического развития превратилась в важнейший социальный институт, оказывающий значительное влияние на все сферы общества и культуру в целом. Наука как знания появилась на заре развития культуры; вместе с тем она превратилась в составную часть производительной силы общества лишь в XX веке. С кибернетической точки зрения науку можно рассматривать как поток информации, рост которого идет стремительными темпами: объем научной деятельности с XVII в. удваивается примерно каждые 10–15 лет (сюда включается рост числа открытий, научной информации, количества научных работников). Наука как информационный процесс стала исследоваться лишь во второй половине XX века – возникли такие области знания, как *науковедение* и *наукометрия*, целью которых является исследование самого феномена науки [3]. Как отмечено в работе [1], если в середине XVIII в. в мире имелось вряд ли более 10 тыс. человек, занимающихся наукой, то к концу XIX в. число ученых превысило 100 тысяч. В XVI в. более половины ученых имело церковное образование. В XIX в. наука становится самостоятельной отраслью общественного труда, которым занимаются «светские» ученые-профессионалы, окончившие специальные факультеты университетов и институтов. К концу XX столетия в мире насчитывалось не менее десяти миллионов ученых, и примерно столько же было занято обслуживанием научных исследований (лаборанты, техники, работники издательств, менеджеры и т.п.).

В течение последнего столетия наблюдается изменение характера развития научного знания: если раньше естествознание развивалось моно-

тонно за счет чисто количественного накопления знаний, то со второй половины XIX в. его развитие начинает носить скачкообразный характер: эпохи «спокойного» развития сменяются революциями, в результате которых происходят радикальные смены основных научных концепций, приводящие к изменению взглядов на мир («смене парадигмы»). Мировоззренческий перелом может происходить первоначально в одной из наук, превращая ее на определенное время в авангард естествознания. Начиная с XVII в., роль такой науки играла физика – именно физические представления, концепции и принципы распространились на другие отрасли знания и послужили основой создаваемых научных картин мира. Благодаря фундаментальным физическим открытиям появились технологии, ставшие основой техники: машинная технология XVII–XVIII вв., созданная на базе механики; электротехника, созданная в XIX в. на базе теории электромагнетизма; ядерные технологии, появившиеся в XX в. на базе атомной физики; информационные технологии, создаваемые в настоящее время на базе компьютеров с использованием некоторых разделов математики и информатики. В последние десятилетия XX века в естествознании существенно увеличился удельный вес биологии, а также усилилось влияние биологического знания на формирование современной научной картины мира. Современные концепции биологии постепенно приобретают универсальный характер, их связь с фундаментальными принципами других наук становится все более тесной. В частности, в современной науке такой универсальной концепцией является концепция развития («концепция глобального эволюционизма»), проникновение которой из биологии в физику, астрономию, космологию, химию, антропологию, социологию и другие научные дисциплины приводит к значительному изменению мировоззрения современного человека. Выдающиеся открытия биологии XX в. – выяснение структуры молекулы ДНК и разгадка генетического кода – привели к появлению генной инженерии.

30.3. Процессы дифференциации и интеграции научного знания

Начиная с эпохи Возрождения, в науке неуклонно происходят процессы дифференциации, то есть разделения знаний по отдельным отраслям (особенно это характерно для естественных наук). Успехи механики, физики, химии, астрономии, биологии, медицины, достигнутые за последние триста лет, стали возможными только благодаря тому, что эти науки выделились из состава синкретической науки Античности и Средневековья, приобрели свою проблематику и собственные методы исследования. Ускорились процессы профессионализации в отдельных областях знания. Все это обеспечило быстрое развитие отдельных наук и более глубокое проникновение их в тайны природы.

- В настоящее время все естественные науки состоят из ряда относительно самостоятельных разделов. Например, основными разделами физики являются механика, молекулярная физика, термодинамика, электродинамика, оптика, физика элементарных частиц, атомная физика. Общая химия вначале разделилась на органическую и неорганическую, затем появилась физическая химия, аналитическая химия, химия углеводов. Возникли разные варианты объединения физических и химических знаний – электрохимия, термохимия, радиохимия, квантовая химия и др. В состав биологии входят ботаника, зоология, микробиология, генетика, физиология, эволюционное учение, систематика, экология, учение о биосфере. Современная геология включает стратиграфию, тектонику, геодинамику, морскую геологию, региональную геологию, минералогию, петрографию, литологию, геохимию, учение о полезных ископаемых.

Однако дифференциация научного знания, наряду с положительными, имеет и отрицательные стороны. Дифференциация знания носит искусственный характер. Ведь природа едина, а разделение знаний по областям ведет к созданию «перегородок» в науке. В результате усилия многих ученых тратятся на решение «локальных» проблем, в то время как принципиальные, «глобальные» проблемы уходят из их поля зрения. Кроме того, узкая специализация приводит к непониманию между учеными, работающими даже в соседних областях науки.

Вместе с дифференциацией, в науке происходят процессы интеграции. Объективной основой возникновения интеграционных процессов является то, что многие проблемы «не вписываются» в те рамки, которые были искусственно созданы при разделении науки на отдельные области. Интеграция научного знания проявляется, во-первых, в том, что создаются пограничные научные дисциплины «на стыках» научного знания. Так, на стыке физики и химии возникли химическая физика и физическая химия; на стыке физики и астрономии – астрофизика; на стыке физики и геологии – геофизика; на стыке физики и биологии – биофизика, на стыке химии и биологии – биохимия, на стыке химии и космологии – космохимия. Ряд дисциплин возник на стыке науки и техники – радиопизика, радиохимия, физика металлов, бионика, геновая инженерия.

Во-вторых, интеграция научного знания проявляется в создании междисциплинарных научных направлений. Указанные интеграционные процессы особенно интенсифицировались, начиная со второй половины XX в., приведя к изменению методологии научного знания. Важнейшие этапы формирования методологии науки второй половины XX – создание общей теории систем, появление кибернетики и синергетики.

Общая теория систем – методология, согласно которой любой объект материального мира может быть рассмотрен как сложная система, состоящая из частей, организованных в одно целое. Система есть совокупность элементов и связей между ними (под элементами понимается объект, неразложимый на составляющие части в рамках данной системы). Сово-

купность частей системы и связей между ними определяет *структуру системы*. При системном подходе в центре внимания находится не изучение составляющих систему элементов как таковых, а анализ структуры объекта и взаимосвязей элементов в этой структуре. В тесной связи с изучением структуры проводится изучение функций системы, а также ее подсистем – структурно-функциональный анализ системы. Наконец, проводится исследование генезиса системы, ее границ и связей с другими системами.

Кибернетика – наука об общих законах управления в природе, обществе, живых организмах и машинах. Кибернетика рассматривает поведение систем любой природы во взаимодействии с другими системами, составляющими их среду. Своеобразие кибернетики состоит в том, что она изучает не вещественный состав систем и не их структуру, а результат работы систем данного класса. Таким образом, кибернетика вводит в научную методологию *функциональный подход* как один из вариантов системного подхода в широком смысле слова. Поскольку всякое управление связано с переработкой информации, кибернетику иногда определяют как науку об общих законах хранения, передачи и переработки информации. Благодаря кибернетике понятие информации, которое было известно с давних пор, получило в естествознании фундаментальный статус – как меры организованности и порядка системы – в противоположность понятию энтропии как меры неорганизованности и беспорядка. Кибернетика устранила ту принципиально неполноту в научной картине мира, которая была присуща науке XIX и первой половине XX века: классическая наука строила представление о мире на двух фундаментальных сущностях – материи и энергии. Однако в палитре научной картины мира отсутствовала еще одна важнейшая «краска» – информация. Опыт развития науки второй половины XX века показал, что самая глубокая причина сопряжения пространства и времени, живой и неживой материи и, вообще, всех происходящих в мире явлений проистекает из взаимодействия трех сущностей: массы, энергии и информации. По мнению ряда ученых не энергия, а информация выйдет в XXI столетии на первое место в числе приоритетных научных понятий.

Кибернетика оказала революционизирующее влияние на теоретическое содержание и методологию всех, без исключения, наук. Она способствовала синтезу научных знаний, устранению непроходимых границ между естественными, общественными и техническими науками. Такие понятия, как *информация, управление, целенаправленность, оптимальность, обратная связь, система, модель, алгоритм* благодаря кибернетике обрели общенаучный статус.

Современная кибернетика состоит из ряда разделов, представляющих собой самостоятельные научные направления. Теоретическое ядро

кибернетики составляют теория информации, теория алгоритмов, теория автоматов, исследование операций, теория оптимального управления, теория распознавания образов. Кибернетика разрабатывает общие принципы создания систем управления и систем для автоматизации умственного труда. Основные технические средства для решения задач кибернетики – электронно-вычислительные машины (ЭВМ). Поэтому возникновение кибернетики как самостоятельной науки (Н. Винер, 1948) связано с созданием в 40-х гг. XX в. этих машин, а развитие кибернетики в теоретических и практических аспектах – с прогрессом в разработке информационных технологий и компьютеров.

Синергетика – наука о самоорганизации систем (термин «синергетика» буквально означает «теория совместного действия»). Синергетика ориентирована на поиск универсальных законов организации и эволюции сложных систем различной природы – физических, биологических, социальных и др. Методы синергетики в значительной степени пересекаются с методами теории колебаний и волн, термодинамики неравновесных процессов, теории катастроф, теории фазовых переходов, статистической механики, системного анализа и других наук.

Синергетика возникла в начале 70-х гг. XX века. До этого времени считалось, что существует непреодолимый барьер между неорганической и органической природой и что лишь живой природе присущи эффекты самоорганизации и саморегуляции. Важнейшим достижением синергетики явилось нахождение общих закономерностей в процессах образования упорядоченных временных и пространственных структур в системах различной природы. Вместе с синергетикой пришло понимание единства неорганического и органического мира, понимание того, что чередование хаоса и порядка является универсальным принципом мироустройства. Синергетика являет собой новый этап изучения сложных систем, продолжающий и дополняющий кибернетику и общую теорию систем.

В настоящее время существует тенденция к формированию новых междисциплинарных научных направлений. В качестве примера можно назвать экологию, возникшую на стыке таких наук, как биология, химия, геология.

30.4. Специфика научного знания

Часто основным отличием науки от искусства считается то, что «искусство субъективно, а наука объективна». В то же время «объективность» науки нельзя абсолютизировать. Это обстоятельство было осознано только в начале XX века в связи с развитием физики и появлением теории относительности и квантовой механики. К середине XX в. сложилось представление о науке как системе моделей, отражающих некоторую часть реаль-

ности (как принято говорить, «предметную область») с той или иной степенью точности и достоверности. В связи с этим науку перестали рассматривать как «инструмент добывания окончательных истин», как это считалось в эпоху Просвещения.

Не выдержала испытания временем и другая концепция – о непрерывном поступательном развитии научного знания. В 70-е годы XX века в США была издана ставшая вскоре знаменитой книга американского ученого Т. Куна по истории науки «Структура научных революций» [4]. В ней автор сформулировал общую концепцию развития науки, суть которой состоит в том, что наука есть не просто увеличение знаний – она представляет собой комплекс представлений соответствующей эпохи. В указанной работе Т. Кун ввел важное понятие «парадигма», которое широко вошло в научный обиход. Под «парадигмой» понимаются принятые научным сообществом фундаментальные положения, теории и принципы. При этом научное сообщество характеризуется тем, что его члены придерживаются определенной парадигмы. Парадигма – это не только совокупность теорий, но и методология, образец решения научных и исследовательских задач. Именно парадигма обуславливает постановку экспериментов и выводы, которые делаются на их основе. Схема развития науки, согласно Куну, состоит в том, что существуют «нормальные» периоды развития науки, которые разделяются периодами «революций». Нормальные периоды характеризуются тем, что средства, предоставляемые парадигмой, позволяют успешно решать научные проблемы. Постепенно в ходе развития науки в ней накапливаются аномалии – противоречия, необъяснимые наукой явления, расхождения с экспериментом. Инструментарий, предоставляемый парадигмой, становится недостаточным для решения новых проблем. Наступает кризис науки. Единственный выход из кризиса – смена парадигмы. Переход от одной парадигмы к другой идет через научную революцию. В рамках новой парадигмы старые термины, понятия, а также истолкования результатов экспериментов наполняются новым смыслом, оказываются в новых отношениях. Это приводит к недопониманию между старыми и новыми научными школами.

В своей книге Т. Кун приводит ряд примеров из истории развития науки, которые подтверждают, что даже важнейшие научные достижения длительное время «не принимались» научным сообществом или отдельными выдающимися его представителями. Так, учение Коперника приобрело лишь немногих сторонников в течение почти целого столетия после его смерти. Фундаментальный труд Ньютона «Математические начала натуральной философии» не получил всеобщего признания, в особенности в странах континентальной Европы, в течение более 50-ти лет спустя его появления. Выдающийся английский химик Дж. Пристли никогда не принял кислородной теории горения, разработанной А. Лавуазье. А знамени-

тый физик У. Томсон (лорд Кельвин) так и не принял электромагнитной теории, разработанной М. Фарадеем и Дж. Максвеллом. Чарльз Дарвин в конце своей книги «Происхождение видов» говорит о том, что он не надеется убедить в правоте изложенных в ней идей опытных натуралистов, умы которых переполнены массой фактов, рассматриваемых ими в течение долгих лет с противоположной точки зрения. Один из самых выдающихся физиков XX века Макс Планк в своей «Научной автобиографии» замечает, что «новая научная истина прокладывает дорогу к триумфу не посредством убеждения оппонентов, принуждая их видеть мир в новом свете, но скорее потому, что ее оппоненты рано или поздно умирают и вырастает новое поколение, которое принимает истину сразу».

Смена парадигмы – чрезвычайно сложный и болезненный процесс. Представители старого научного сообщества, как правило, активно сопротивляются пересмотру парадигмы и стараются «втиснуть» природу в рамки старой парадигмы.

30.5. Естественнаучная и гуманитарная культуры

Науки подразделяются на *естественные* – науки о природе – и *гуманитарные* – науки о человеке и обществе. Особое место в системе научного знания занимает математика, изучающая абстрактные математические структуры. Совокупность наук о природе, рассматриваемая как единое целое, то есть комплекс естественных наук, образует *естествознание*. В естествознании к числу фундаментальных наук относятся физика, химия, биология, космология и науки о Земле. Основные гуманитарные дисциплины – история, филология, экономика, юриспруденция, социология. Ряд наук находится на стыке естественного и гуманитарного знания (например, антропология, психология, психолингвистика). Во второй половине XX в. на стыке истории, философии, социологии, психологии, лингвистики и искусствоведения возникла комплексная гуманитарная наука – культурология; ее формирование выражает общую тенденцию интеграции научного знания о культуре. К естественным наукам примыкают технические науки, образующие мост, соединяющий науку с практикой.

В силу принципиальных различий объектов познания и путей исторического развития естественные и гуманитарные науки выработали собственную методологию, что фактически привело к созданию двух культур – естественнаучной и гуманитарной. Естественнаучную культуру составляют не только фактические достижения естественных наук, но также сложившиеся в них принципы и методы исследования и созданные на их основе технологии. К гуманитарной культуре относят тот пласт культуры, который освоен в гуманитарном знании, а также искусство (включая прикладное искусство), и религию.

Методология естественнонаучного знания характеризуется такими чертами, как рациональность, доказательность, стремление к четкости и однозначности понятий, экспериментальная основа, широкое использование количественных характеристик. Это обуславливает в ней опору на логику, применение математики и математических методов обработки информации. Для естественных наук важнейшим методом исследования является редукция, представляющая собой «разложение» сложного объекта на составные части и изучение этих частей по отдельности. Тем самым в определенной степени достигается «сведение сложного к простому». В частности, этот метод широко используется в физике. Характерным для естественнонаучного знания является стремление к объективности знания, к независимости результата исследования от самого исследователя.

Напротив, для гуманитарного знания характерна включенность исследователя в изучаемое явление, что обуславливает проявление его личного отношения к описываемому явлению. Поэтому в гуманитарных науках нормой являются этические и эстетические оценки автора, которые даются на субъективной основе. В отличие от естествознания, в гуманитарной области опорой зачастую являются не рациональные, а интуитивные мотивы, причем итоговые выводы делаются не только на основе логического анализа информации, но также с учетом личностного отношения автора к исследуемому явлению. Наконец, широко используемое в естествознании «разложение исследуемого объекта на составные части» в гуманитарном знании обычно заменяется целостным восприятием объекта. Особенно это характерно для искусства: основа произведения искусства – художественный образ – имеет по своей природе синтетический целостный характер [5].

В религии суждения фактического типа, мировоззренческие положения, нравственные и социальные нормы – все это утверждается в виде религиозных догм, находящихся вне логики и без обращения к опыту. Религиозная догматика принимается на чисто интуитивной основе – она апеллирует к высшим силам и подкрепляется авторитетом церкви. Для утверждения этих догм используются такие методы, как мистика, обрядность, массовое внушение. Важную роль при этом играет искусство.

Итак, гуманитарное знание и естествознание «исповедуют» различные способы познания мира. Это привело к разделению научной культуры на две культуры – естественнонаучную и гуманитарную.

Проблема «двух культур» впервые была сформулирована английским физиком и писателем Чарльзом Сноу в 50-х гг. XX в. Она породила бурные дискуссии, разделив общество на «технофилов» и «технофобов» (на Западе) и «физиков» и «лириков» (в бывшем Советском Союзе).

Разделение культуры на две части – естественнонаучную и гуманитарную – является негативным фактором, сдерживающим ее развитие.

Вместе с тем, в настоящее время среди многих ученых-естественников возникло убеждение, что естественнонаучная сфера является самодостаточной. Другими словами, считается, что для успешного исследования естественнонаучных проблем ни гуманитарное знание, ни искусство не нужны. Свойственное точным наукам четкое разделение знания на аксиомы, гипотезы и дискурсивно выводимые (на базе логики и математики) следствия выдается за образец научного исследования. Конечно, указанные факторы обеспечивают практически полную достоверность сделанных выводов (в пределах существующей парадигмы). В то же время, замыкание только на логику и на проверку правильности вывода следствий из аксиом исключает оценку правильности этих аксиом, то есть оценку адекватности самой модели. Тем самым игнорируется критерий практики. Кроме того, следует иметь в виду, что *введение существенно новых понятий, принятие новых принципиальных научных положений и концепций есть внелогический акт, который возможен только на базе целостных, интуитивных представлений и ассоциаций, относящихся к изучаемой предметной области.* Известны, например, случаи, когда ученый, славящийся своей квалификацией, эрудицией и трудолюбием, в целом создает меньше, чем от него ожидалось, из-за боязни «рискованных фантазий», то есть из-за ограничения интуиции. Наконец, поворотный этап в развитии научного знания – смена научной парадигмы – основан на оценке уже существующего знания, интерпретации результатов опытов, прогнозе возможностей его развития и является результатом неформального синтетического мышления.

Таким образом, без интуитивных синтетических суждений в естествознании обойтись невозможно. Сферой деятельности людей, в которой интуиция является основным инструментом постижения истины, является искусство. Поэтому одна из важнейших функций искусства в его взаимоотношениях с естествознанием состоит в том, что оно укрепляет авторитет интуиции и развивает способности к синтетическим интуитивным суждениям [6].

Основные компоненты человеческого мышления – логика и интуиция. Если логическое мышление происходит на основе устойчивых и многократно проверенных логических правил, то интуиция основана на целостном синтетическом восприятии явления. Способность к интуитивному «усмотрению истины» является удивительной способностью человека. Она связана с многосторонним – как чувственным, так и мыслительным – «охватом» различных свойств и связей исследуемого объекта с привлечением множества ассоциаций. Процесс выработки интуитивного суждения протекает чрезвычайно быстро и иногда имеет характер «озарения»; при этом в его формировании участвует как сознание, так и подсознание. Вопрос о соотношении интуитивных и логических аспектов мышления человека

является одним из основных в современной психофизиологии (см. напр. [7, 8]).

В конце XX в. было сделано важное открытие в области физиологии головного мозга человека: при его полной анатомической симметрии имеет место функциональная асимметрия. Она состоит в том, что функции левого и правого полушария мозга не тождественны между собой: левое полушарие является ведущим для проведения абстрактных операций, связанных с логикой, речью, счетом и письмом, а правое – для формирования целостных зрительных и слуховых образов. Упрощенно говоря, правое полушарие обеспечивает человеку образное и целостное восприятие окружающего мира (синтетическую функцию), а левое производит его «расчленение» на составные элементы (аналитическую функцию). Именно взаимодействие этих взаимно дополняющих функций (анатомически оно осуществляется благодаря наличию волокон, соединяющих кору двух полушарий), дает возможность человеку познавать окружающую действительность во всей ее полноте.

Существует глубокая аналогия между асимметрией научного знания (имеющего естественнонаучную и гуманитарную составляющую), и асимметрией мозга: естественнонаучное знание соответствует левому полушарию, а гуманитарное – правому. Природа дает образец решения проблемы «двух культур»: не взаимоизоляция, а взаимопроникновение друг в друга.

Тема 31. Системно-структурная методология научного знания

Основные вопросы:

31.1. Становление и развитие системного подхода.

31.2. Что такое система?

31.3. Виды систем.

31.4. Целевая детерминация поведения систем.

31.5. Системы управления. Особенности управления сложными системами.

31.6. Живой организм как кибернетическая система.

31.1. Становление и развитие системного подхода

Вторая половина XX века – эпоха научно-технического прогресса – характеризуется не только грандиозными достижениями науки и техники, но также изменениями в методологии научного познания. Не случайно именно в эти годы происходит становление и внедрение системного метода исследования (системного подхода) в различных областях знания и сферах общественной и производственной деятельности. С середины XX века

в связи с переходом к изучению и использованию на практике сложных многокомпонентных систем началась специальная разработка системного подхода.

Системный подход представляет собой специальный способ теоретического представления и воспроизведения изучаемых объектов. Применение системного подхода предполагает, прежде всего, анализ феномена целостности, увязки структуры системы с исполняемыми ею функциями [9]. Стремление к целостному охвату объекта изучения, к системной организации знания, в той или иной степени всегда было свойственно научному познанию, начиная со времен Античности. В качестве примера можно указать созданную Ч. Дарвином теорию биологической эволюции, которая не только ввела в естествознание идею развития, но и утвердила представление о реальности надорганизменных уровней организации жизни, что явилось важнейшей предпосылкой системного мышления в биологии. Однако вплоть до середины XIX в. объяснение феномена целостности либо ограничивалось уровнем конкретных предметов (типа живого организма), внутренняя целостность которых совершенно очевидна и не требует специальных доказательств, либо переносилось в сферу общефилософских построений. Односторонние подходы в трактовке системности были свойственны и классической науке, центральным пунктом методологии которой являлось сведение сложного к простому на базе механицизма, который базируется на философском принципе причинности, понимаемом в узко детерминистском смысле.

В качестве теорий, оказавших определенное влияние на становление и развитие идей системного подхода во второй половине XIX и в начале XX в. можно указать различные варианты организмических концепций в биологии, а также теорию интегративных уровней (Г. Браун, Р. Селларс). Фундаментальные исследования в этом направлении были предприняты нашим соотечественником А. А. Богдановым, который еще в начале прошлого века начал создавать *тектологию* – общую теорию организации. Между материей и организацией Богданов усматривал тесную связь: материя всегда имеет ту или иную организацию; в то же время, организацию нельзя мыслить без ее материального носителя. В качестве основания для построения общей теории организации А. А. Богданов считал то, что несмотря на фантастическое «разнообразие материала», существующего в природе, имеется относительно небольшое число его архитектурных или организационных форм. В конце 20-х – начале 30-х годов XX в. австрийский биолог Людвиг фон Берталанфи в ходе полемики с механицизмом и витализмом сформулировал ряд принципов исследования живых объектов как целостных множеств взаимосвязанных элементов, находящихся в процессе непрерывного обмена веществом и энергией с внешней средой. В 30-е годы он поставил задачу построения «общей теории систем» – меж-

дисциплинарной научной области, в задачу которой входит разработка принципов исследования систем любого типа и любой сложности. Однако, как об этом позже писал сам Берталанфи, интеллектуальный климат в науке того периода не способствовал благосклонному принятию этих идей. В послевоенные годы произошли важные изменения в теоретической и методологической ориентации научных исследований. В значительной степени это было связано с возникновением кибернетики и близких к ней научных направлений, успешные приложения которых к реальным проблемам привели к повышению ценности теоретических обобщений в науке. Концепция «общей теории систем» Берталанфи, появившаяся в 50-е годы прошлого века, была встречена научным сообществом с большим интересом и получила дальнейшее развитие. В 50-е гг. Л. Берталанфи организовал в Канаде центр системных исследований и опубликовал большое число работ, в которых он пытался найти то общее, что свойственно всем достаточно сложным материальным объектам – как биологической, так и социальной природы. В 1954 г. в США было создано «Общество исследований в области общей теории систем». Начиная с 1956 г. под редакцией Л. Берталанфи и А. Рапопорта оно стал издавать ежегодник «*General Systems*» по вопросам общей теории систем. В нем публиковались исследования, посвященные как анализу принципов и методов системного подхода, так и конкретным разработкам применения общей теории систем к проблемам биологии, социологии, кибернетики, психологии и т.п. Значительный вклад в развитие философских и логико-математических концепций системного подхода внесли отечественные ученые. С 1969 г. Институт истории естествознания и техники Академии наук начал выпуск ежегодника «Системные исследования».

В XX в. системный подход занимает одно из ведущих мест в научном познании. Предпосылкой его проникновения в науку явилось, прежде всего, появление задач нового типа: в ряде областей науки и практики центральное место начинают занимать проблемы организации и функционирования сложных объектов. В соответствии с этим познание начинает оперировать системами, границы и состав которых далеко не очевидны и требуют специального исследования в каждом отдельном случае. Во второй половине XX в. техника всё более превращается в технику сложных систем, где многообразные технические и организационные средства тесно подчинены решению крупной комплексной проблемы (например, проблемы развития городов, мероприятия по охране природы, создания современных производственных комплексов, космические проекты).

Изменение типа научных и практических задач сопровождается появлением общенаучных и специально-научных концепций, для которых характерно использование в той или иной форме основных идей системного подхода. Так, в учении В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере на-

учному познанию предложен новый тип объектов – глобальные системы. Выделение особого класса систем – информационных и управляющих – стало фундаментом возникновения кибернетики. В биологии системные идеи используются в экологических исследованиях, при изучении высшей нервной деятельности, в анализе биологической организации, в систематике. Аналогичные идеи применяются в некоторых психологических концепциях: гештальтпсихология вводит оказавшееся весьма плодотворным представление о психологических структурах, характеризующих деятельность по решению задач; культурно-историческая концепция Л. С. Выготского основывает объяснение психологических феноменов на понятии деятельности, истолковываемом в системном плане; в концепции Ж. Пиаже основополагающую роль играет представление о системе операций интеллекта. В последние десятилетия в связи с созданием сложных хозяйственных комплексов, проектированием больших технических систем, анализом экологических ситуаций и решением других масштабных задач, требующих междисциплинарных исследований, возникла новая научная дисциплина – системный анализ [10]. Он представляет собой совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного и технического характера. Системный анализ опирается на системный подход, а также на ряд математических дисциплин и современных методов управления. Основная процедура системного анализа состоит в построении обобщенной модели, отображающей взаимосвязи реальной ситуации. Техническая основа системного анализа – компьютеры и информационные системы. С 1950-х гг. системный анализ применяется в экономике, сфере управления, при решении экологических проблем, задач освоения космоса и др. Термин «системный анализ» иногда употребляется как синоним системного подхода.

В настоящее время системный подход рассматривается как направление в методологии научного познания и в общественной практике, в основе которого лежит понимание объектов материального мира как систем. Сущность системного подхода состоит в том, что он ориентирует исследование на учет целостности объекта, поиск механизмов, ее обеспечивающих, выявление многообразных типов связей, существующих внутри объекта, и сведение их в единую теоретическую картину.

31.2. Что такое система?

Несмотря на то, что термин «система» является одним из самых употребительных в научной и философской литературе, его точного и общепринятого определения не существует. Иногда система определяется как «множество взаимосвязанных элементов» или как «совокупность эле-

ментов, обладающих определенными свойствами и находящихся в некоторых отношениях». Однако в приведенных определениях не выявлена специфика систем и системного подхода: то, что вещи состоят из взаимосвязанных элементов, обладают какими-то свойствами и находятся в определенных отношениях, в науке было известно с незапамятных времен. На современном этапе исследования систем и системной методологии представляется более важным не дефиниция этого понятия в рамках одного предложения, а выявление основных специфических характеристик систем и особенностей системной методологии. Выделяют следующие основные черты систем.

- **Целостность.** Под этим понимается, во-первых, относительная отграниченность, выделенность, самостоятельность функционирования системы по отношению к другим совокупностям (системам), образующим ее среду. Именно благодаря указанным свойствам система выступает как единый объект.

Важнейшим проявлением целостности системы является наличие у нее свойств, которых нет у составляющих ее элементов (в кибернетике указанное качество систем носит название *эмерджентности*). Эмерджентность системы заключается в «порождении» у нее свойств, специфичных именно для всей системы и не выводимых из наблюдаемых свойств ее элементов и способов их соединения. Иногда эмерджентность системы формулируют в виде правила: *целое не равно сумме своих частей*. При формировании системы как единого целого ее элементы претерпевают качественные изменения, поэтому каждый объект как элемент системы не тождественен такому же объекту, взятому изолированно. Например, сплетая хрупкие прутки, мы получаем прочную корзину. Химическое соединение может обладать свойствами, которых нет у составляющих его элементов. Важнейшие свойства социально-экономических и организационных систем также обусловлены эффектом эмерджентности (например, эффективность спортивной команды не сводится к сумме эффективностей участников этой команды). Вообще, всякая характеристика системы, которая не является аддитивной относительно составляющих ее факторов, обусловлена эффектом эмерджентности. Таким образом, эмерджентность является одной из форм проявления диалектического принципа перехода количественных изменений в качественные. Именно в наличии скачка между свойствами элементов системы и свойствами самой системы заключена основная трудность анализа систем и разработки системной методологии. В качестве примеров свойств системы, придающим ей целостный характер, можно отнести такие, как симметрию (понимаемую в широком смысле); ритм; наличие гармонии.

- **Наличие взаимосвязей.** Взаимосвязи проявляются как между отдельными элементами системы, так и между ее подсистемами. Каждый элемент системы прямо или косвенно связан со всеми остальными. Поэтому свойства и возможные состояния любого элемента системы обусловлены свойствами и состояниями всех других элементов системы. Следовательно, система представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов.
- **Наличие структуры.** Выявление структуры системы состоит в выделении ее составных частей и нахождении соотношений и связей между ними. При этом выделяемые части системы должны быть не просто ее подмножествами, а также самостоятельными системами. Типы связей между подсистемами системы весьма многообразны. Различны и способы формализации этих связей. Простейший способ формализации связей между подсистемами состоит в задании графа связей между ними.

Особый тип систем составляют *сложные* или *большие* системы. Единого общепринятого определения этого термина, как и понятия системы, не существует. Один из классиков кибернетики У. Р. Эшби полагает, что система является сложной с точки зрения исследователя, возможности которого она превосходит в каком-либо аспекте, важном для него. Следует отметить, что сложность системы связана не с ее физическими размерами или числом составляющих ее элементов – она определяется целями исследователя и средствами, имеющимися в его распоряжении. Так, Солнечная система при своих колоссальных размерах может рассматриваться как простая механическая система, если исследователя интересует только один ее аспект – движение планет. В принципе всякий материальный объект является сложной системой, так как он обладает бесконечным числом свойств и связей с другими материальными объектами. Однако при изучении материального объекта под определенным углом зрения мы можем абстрагироваться от большинства его свойств, упростить его структуру и тем самым «превратить» сложную систему в простую. Принцип идеализации доводит этот процесс «до предела», когда объект рассматривается как носитель одного или нескольких свойств, интересующих исследователя.

Случайный, хаотический характер поведения сложных систем с большим числом элементов связан с непредсказуемым взаимным влиянием и взаимодействием ее элементов между собой. Однако хаотическое поведение могут проявлять также сравнительно простые системы, для которых незначительные изменения в настоящем приводят к значительным изменениям в будущем. В качестве наглядного примера такой системы можно рассмотреть камень, находящийся на вершине высокой горы. Если камень начнет скатываться вниз, то предсказать траекторию его движения практически невозможно. Здесь причиной хаотического поведения являет-

ся неустойчивость по отношению к начальным условиям: как угодно малое изменение начальных условий приводит к существенным изменениям параметров системы. Для таких систем происходит лавинообразное накопление возмущений, которое делает очень сложным предсказание их поведения.

Эмерджентность сложной системы определяется теми характеристиками системы, которые свойственны ей в целом, а не появляются как результат накапливания свойств ее частей. Именно это качество сложной системы не позволяет при ее изучении ограничиться рассмотрением ее элементов, а предполагает анализ системы как целостного объекта. Эмерджентные качества больших систем являются наименее доступными прямому наблюдению и измерению.

Приспособление системы к меняющимся условиям среды называется *адаптацией*. В процессе такого приспособления могут меняться существенные характеристики системы, а также ее структура. При этом с увеличением степени изменения среды усиливается глубина преобразования структуры системы в процессе ее адаптации.

Одним из видов адаптации системы является *гомеостаз*. Под гомеостазом понимают свойство системы сохранять свои существенные характеристики в определенных границах при возмущающих воздействиях среды (впервые это понятие было введено американским биологом Уолтером Кенноном для обозначения физиологических процессов, направленных на поддержание на нужном уровне важнейших параметров организма). Именно гомеостаз позволяет системе сохранять свое качественное своеобразие и не подвергаться деструкции при изменениях состояния среды. Следует отметить, что понимание гомеостаза системы как «поддержание её основных параметров в заданных границах» является слишком узким – его можно считать адекватным лишь в том случае, когда эти параметры независимы. При наличии зависимости между параметрами системы гомеостаз может осуществляться более сложным образом – реализацией некоторых соотношений между ее параметрами. Например, если имеются два параметра X и Y , такие, что для системы существенной является их сумма, то при уменьшении параметра X гомеостаз может состоять в увеличении параметра Y (даже если оба параметра – как X , так и Y – выходят за назначенные границы).

Для больших систем характерным является высокое значение такой системной характеристики, как *разнообразие*. Количественной мерой разнообразия системы может служить логарифм (обычно по основанию 2) числа различимых состояний системы. В кибернетической концепции У. Р. Эшби центральное место занимает понятие «ограничения разнообразия», то есть его уменьшения по сравнению с возможным. Согласно Эшби, каждый закон природы есть ограничение разнообразия, так как из всех по-

тенциально возможных состояний системы (определяемых значениями ее характеристик, формами протекания процессов и т.п.) закон указывает область реализуемых состояний. Важнейшую роль при рассмотрении управления системами играет *закон необходимого разнообразия* Эшби. В соответствии с этим законом для эффективного управления большой системой управляющая система должна иметь значительное собственное разнообразие, что может быть достигнуто за счет ее структуризации.

Оригинальную концепцию сложной системы выдвинул отечественный ученый Ю. А. Шрейдер [11]. Для простой системы любой сигнал, поступающий на ее вход из некоторой ее подсистемы или из среды, имеет однозначную интерпретацию и вызывает вполне определенную реакцию (в биологии такой вид реагирования называется «управлением по типу стимул-реакция»). В то же время, для сложной системы ее реакция на сигнал зависит от принятого ею решения – как реагировать на данный сигнал.

Таким образом, согласно этой концепции, главное отличие сложной системы от простой состоит в том, что в простых системах «общение» между ее подсистемами и средой происходит на чисто синтаксическом уровне, в то время как для сложных систем для этого требуется семантика.

31.3. Виды систем

Деление систем на различные виды (или типы) производится по разным основаниям. Например, системы можно разделить на *абстрактные* и *конкретные*. Система называется *абстрактной*, если ее элементами являются продукты человеческого сознания (понятия, суждения, представления, знания и т.п.). Система, состоящая из реально существующих объектов, называется *конкретной* (или *материальной*). Примерами абстрактных систем могут служить различные языки (как живые, так и формализованные), философские системы, системы счисления. Продукты природы, а также продукты техногенной цивилизации, являются материальными системами.

В [11] предложено деление систем на два типа: *внутренние* и *внешние*. Под внутренней системой понимается целостное образование, к которому можно применять процедуры членения, в результате чего такая система представляется в виде определенной структуры составляющих ее частей. Под внешней системой понимается множество объектов общей природы, объединенных некоторой «единой сущностью». Точнее, внешняя система сформирована из объектов, обладающих сходством по некоторой группе признаков, а значит, подобных между собой. Эти объекты допускают объединение в один класс именно в силу своего подобия; тем самым совокупность таких объектов образует целостное единство. Типичным примером внутренней системы является живой организм. Целостность ор-

ганизма определяется присущей ему структурой; выделение подструктур происходит здесь естественным образом, причем оно не является однозначным: можно подразделять организм на ткани, на органы, на функциональные системы и т.д. Не следует думать, что элементы и части внутренней системы непременно должны соединяться механическим способом. Например, биоценоз представляет собой внутреннюю систему, члены которой (отдельные организмы) соединены вещественными, энергетическими и информационными связями (см. тему 28, вопрос 3). Примером внешней системы может служить класс млекопитающих. Здесь мы не можем по своему произволу добавить к этому классу или исключить из него некоторый объект. Хороший пример внешней системы – научное сообщество, члены которого объединены общей парадигмой. Здесь связи между элементами системы носят, как правило, информационный характер. Обычно компонентами внешней системы служат внутренние системы, причем общность их природы обеспечивает целостность внешней системы. Рассмотрим важнейшие виды систем, встречающиеся в научной и общественной практике.

Классификационные системы. Классификация изучаемых объектов представляет собой традиционный метод познания. В недавнем прошлом «правильная» классификация природных объектов считалась важнейшей целью изучения природы и вершиной ее научного познания. В XX в. взгляды на роль классификаций в процессе познания заметно изменились. Конечно, классификация необходима в любой области знания: без нее огромное множество изучаемых объектов стало бы просто необозримым. Однако классификация является лишь этапом в изучении закономерностей природы, целью которого является фиксирование некоторого членения объектов природы, и потому не может быть самоцелью.

В гносеологическом аспекте проблема классификации заключена в том, является ли классификация искусственной или естественной. Классификация считается естественной, если в качестве ее оснований выступают существенные признаки, и искусственной, – если формальные. Блестящим примером естественной научной классификации является периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Большую роль в развитии биологии сыграла классификация животных и растений Карла Линнея. Наиболее известные современные научные классификационные системы – систематика в биологии, систематика в минералогии, классификация элементарных частиц в физике, классификация звезд и звездных систем в космологии. Следует отметить, что в настоящее время противопоставление естественных и искусственных классификаций во многом утратило свою остроту. Дело в том, что далеко не всегда удается отделить существенное от несущественного, особенно в природе и в общественных процессах: существенное в одном отношении может оказаться несуществен-

ным в другом. Еще Ф. Энгельс указывал, что слишком резкие разграничительные линии несовместимы с теорией развития. С точки зрения системной методологии классификация есть построение внешней системы. При этом естественная классификация представляет собой отражение системности, существующей в природе, в то время как искусственная классификация есть лишь отражение представлений, существующих в голове исследователя.

Результатом классификации является разделение первоначального класса объектов на более мелкие единицы (которые называются *таксонами*). Деление на таксоны производят по некоторым признакам, которые выступают в качестве оснований для классификации. Как правило, развернутая классификация является многоступенчатой. Так, все живое разделяется на царство растений и царство животных; иногда выделяют отдельно царство бактерий и царство грибов. Далее, царство животных подразделяется на типы, типы – на классы, классы на отряды, отряды – на семейства, семейства – на роды, роды – на виды. Заметим, что по мере все большего познания органического мира обнаруживалась недостаточность приведенной классификации для фиксации степеней сходства организмов. Поэтому постепенно вводились новые таксономические единицы: подсемейства, подклассы, подвиды и т.д.; в настоящее время их общее число превышает 20.

Схематически многоступенчатую классификацию можно представить следующим образом: класс исходных объектов делится на таксоны первого уровня; каждый таксон первого уровня – на таксоны второго уровня и т.д. неделимые таксоны называются *минимальными* таксонами. В простых классификациях таксоны одного уровня не имеют общих элементов (то есть не пересекаются). Тогда любые два таксона либо не пересекаются, либо один из них включается в другой. Такая таксономическая структура представляет собой дерево, корнем которого является класс исходных объектов (максимальный таксон), а концевые вершины дерева соответствуют минимальным таксонам. В этом случае для каждого таксона, кроме максимального, существует единственный содержащий его таксон предыдущего уровня. С точки зрения таксономии, сходство (родство) объектов тем больше, чем в меньший общий таксон они попадают. В древесной структуре таксономии, в которой уровень всех минимальных таксонов одинаков, можно ввести понятие расстояния d между двумя объектами по формуле: $d = N - n$, где N – уровень всех минимальных таксонов, а n – уровень наименьшего таксона, содержащего оба эти объекта. В этом случае для объектов, попадающих в один минимальный таксон, расстояние между ними будет равно нулю. Это означает, что фактически такие два объекта считаются неразличимыми в рамках данной таксономии.

31.4. Целевая детерминация поведения систем

При изучении системы, независимо от того, является ли она природной, технической, социально-экономической или организационной, возникают три основных вопроса:

Как устроена система?

Как она функционирует?

Для чего она функционирует?

Если первые два вопроса связаны со структурно-функциональной организацией системы, то последний вопрос связан с наличием цели. Цель является важнейшей характеристикой, определяющей поведение сложной системы. Система называется *целенаправленной*, если ее деятельность направляется определенной целью (или некоторым множеством целей).

В кибернетике считается, что в принципе поведение сложной системы может быть описано двумя способами: *аксиологически* (в терминах цели) и *каузально* (в терминах непосредственного влияния одних переменных на другие). Аксиологическое описание состоит в том, что системе приписывается свойство «стремиться к достижению некоторой цели» (даже если система заведомо не может иметь сознательной цели). В каузальном описании не предполагается наличия у системы какой-либо цели, а ее поведение объясняется воздействиями на нее управляющих сигналов, поступающих из ее подсистем или со стороны среды. Аксиологическое описание поведения системы удобно, так как оно основано на введении единой характеристики поведения системы, инвариантной относительно меняющихся состояний среды.

В последние десятилетия произошло, как нам представляется, осознание той ведущей роли, которую играет цель в поведении систем самой различной природы, хотя разработка вопросов целевой детерминации поведения сложных систем в разных науках находится на различной стадии (больше всего это направление разработано в физиологии и психологии). Можно выделить следующие основные проблемы, касающиеся целевых аспектов формирования и функционирования систем.

- **Цель как системообразующий фактор.** Для физиологических систем основным системообразующим фактором считается полезный результат системы, что означает фактически направленность их деятельности на определенную цель. Фундаментальную роль играет понятие цели в теории функциональных систем П. К. Анохина и в физиологии активности Н. А. Бернштейна. Сходные идеи высказывались многими теоретиками организационных систем относительно организаций. Говоря кратко, интегрирующим фактором всякой организации является цель: организация, не имеющая цели, не возникает; потерявшая цель, – распадается.

- **Проблема генезиса целей.** Здесь можно высказать, по-видимому, общее положение: *цель системы формируется не в ней самой, а системой вышестоящего ранга.* Точнее, она формируется при взаимодействии системы с некоторой содержащей ее надсистемой. Например, для каждого конкретного человека его цели (отличные от узко физиологических) возникают при его взаимодействии с окружающими коллективами.
- **Проблема построения дерева целей.** Для сложной системы, состоящей из большого числа подсистем, ее цель «распадается» на подцели этих подсистем. При этом, чем ниже ранг подсистемы, тем, как правило, конкретнее ее цели. С повышением ранга системы уменьшается четкость стоящих перед ней целей.
- **Проблема формализации целей.** При составлении математической модели управления системой цель формализуется в виде целевой функции; при этом цель отождествляется с переходом системы в состояние, в котором целевая функция достигает своего экстремума. Однако характерной особенностью исследования сложных систем является многокритериальность, состоящая в том, что состояния системы оцениваются по *многим показателям* (локальным критериям). Сведение локальных критериев в глобальный (единую целевую функцию) либо невозможно в принципе, либо требует очень большой дополнительной информации о соотношении локальных критериев между собой. Косвенным подтверждением этого являются многочисленные свидетельства теоретиков и практиков системного анализа о трудностях, возникающих при попытках построения целевых функций даже сравнительно простых реальных систем [12].

Аксиоматический подход к задаче согласования предпочтений, предпринятый известным математиком, нобелевским лауреатом К. Эрроу, показал, что сложности в построении агрегированного линейного порядка на базе линейных порядков по локальным критериям носят не технический, а принципиальный характер. Столкновение с трудностями такого рода можно рассматривать как проявление выдвинутого в последние десятилетия в общей теории систем *принципа несовместимости*, суть которого состоит в несовместимости большой сложности системы и ее точного количественного описания.

- Обсудим вкратце следующий вопрос: может ли быть целенаправленной система, не имеющая ни разума, ни сознания? Например, камень, который скатывается с горы, стремится достичь состояния, соответствующего минимуму его потенциальной энергии. Луч света, переходящий из одной оптической среды в другую, преломляется таким образом, чтобы время его движения было минимальным (закон Снеллиуса). Конечно, никто не считает, что камень или луч света наделены сознанием, диктующим им определенные цели, однако поведение этих систем таково, «как будто» они имеют некоторую цель. Эти примеры под-

черкивают некую общность в поведении «сознательных» и «бессознательных» систем – их функционирование направлено к определенному результату. Обобщенное понимание цели, не связанное с наличием сознания, уже прочно вошло в биологию вместе с утверждением в ней представлений о внутренней активности биосистем (Н. А. Бернштейн, П. К. Анохин). В кибернетике общий подход к понятиям цели и целенаправленности был развит в начале 40-х годов прошлого столетия основателем кибернетики Н. Винером. В работе [13] говорится следующее: «Активное поведение можно подразделить на два класса: нецеленаправленное (или случайное) и целенаправленное. Термин «целенаправленное» здесь означает, что действие или поведение *допускает истолкование* (выделено нами – В. Р.) как направленное на достижение некоторой цели, т.е. некоторого конечного состояния, при котором объект вступает в определенную связь в пространстве или во времени с некоторым другим объектом или событием. Нецеленаправленным поведением является такое, которое нельзя истолковать подобным образом». Итак, предложенное Винером кибернетическое понимание цели и целенаправленности систем основано только на их поведении и не связано необходимым образом с наличием у них сознания. Встав на эту точку зрения, мы можем считать целенаправленной такую систему, поведение которой обнаруживает направленность на определенный результат. Другими словами, целенаправленная система ведет себя так, «как будто» она преследует некоторую цель, а обусловлена ли на самом деле эта направленность сознательной целью системы или же ее структурно-функциональной организацией – это другой вопрос.

31.5. Системы управления. Особенности управления сложными системами

Одним из самых распространенных видов систем являются системы управления. Такие системы являются главным объектом изучения кибернетики («отец» кибернетики Норберт Винер определял кибернетику как науку о связи и управлении в машинах и живых организмах). Всякое управление носит целевой характер. Говорить об управлении можно только при наличии определенной цели. При отсутствии цели управление теряет всякий смысл и движение системы превращается в случайное блуждание. (Напомним в связи с этим характерное изречение, приписываемое римскому поэту и философу Луцию Сенеке: «Для корабля, который не знает, куда ему плыть, не бывает попутного ветра».)

Система управления предполагает наличие *объекта управления* и *управляющей системы*, которые являются ее подсистемами. Физически управление состоит в том, что управляющая система посылает некоторые сигналы на вход объекта управления. Помимо воздействий со стороны управляющей системы, объект управления испытывает также воздействия (возмущения) со стороны среды. В результате всех этих воздействий объект управления изменяет свое состояние и посылает определенные сигнала-

лы на вход системы управления. Так происходит движение всякой системы управления (то есть изменение ее во времени).

Различают два типа управления – *разомкнутое* и *замкнутое*. При разомкнутом управлении сигналы управляющей системы формируются только на основе информации о состоянии среды, получаемой управляющей системой по каналу связи. Пример разомкнутого управления: обогрев помещения подачей теплой воды по трубам отопления, когда температура подаваемой воды зависит только от температуры воздуха на улице и не зависит от фактической температуры воздуха в помещении. При замкнутом управлении выработка воздействий управляющей системы основана на анализе информации как о состоянии среды, так и о состоянии объекта управления (в этом случае необходимо наличие канала связи от объекта управления к управляющей системе). Как замкнутое, так и разомкнутое управление имеют свои преимущества и свои недостатки. Преимущество разомкнутых систем управления заключается в быстром реагировании на изменения состояний среды, а недостаток – в отсутствии информации о состоянии объекта управления. Напротив, преимущество замкнутых систем управления состоит в учете информации и о состоянии среды, и об объекте управления; однако за время, в течение которого эта информация перерабатывается для формирования управляющих воздействий, состояние среды может измениться.

Одним из важнейших понятий кибернетики является понятие *обратной связи*. Обратная связь в системе управления состоит в том, что часть выходного сигнала всей системы подается на ее вход. При этом говорят о *положительной обратной связи*, если она усиливает эффект управляющего воздействия, и об *отрицательной обратной связи*, если она его уменьшает. Обычно положительная обратная связь является кратковременной – иначе она приводит к большим отклонениям параметров системы. Напротив, отрицательная обратная связь способствует восстановлению равновесия в системе.

Существует два основных типа управления: *оптимизация* и *регулирование*. Оптимизация заключается в том, что с помощью управляющих воздействий система управления переводит объект управления в некоторое заранее заданное подмножество оптимальных состояний. Например, оптимизация управления самолетом при его взлете сводится к набору им определенной высоты и скорости при минимальном расходе топлива. При этом управляющие воздействия определяются положением рулей в каждый момент времени полета.

Среди видов регулирования наиболее распространенным является *стабилизация* – активная защита от возмущений среды. В замкнутых системах управления стабилизация может обеспечиваться автоматически за счет отрицательной обратной связи. Скажем, стабилизация числа зайцев в

биоценотической системе «хищник-жертва» происходит так: увеличение числа зайцев приводит к увеличению числа волков, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению числа зайцев, и равновесие восстанавливается. Аналогично действует механизм рыночного регулирования цен: увеличение цены на некоторый товар приводит к уменьшению спроса на него и, как следствие, к уменьшению прибыли; это толкает производителя на снижение цены и восстановление равновесия.

Как уже отмечалось выше, всякое управление носит целевой характер. Цель управления сводится, как правило, либо к сохранению, либо к совершенствованию структуры и функций управляемой системы. Однако приобретение новой структуры и/или функций системы может осуществляться и без внешнего вмешательства, т.е. при отсутствии управляющей подсистемы – это есть *феномен самоорганизации*, составляющий предмет изучения новой науки – синергетики. Самоорганизация состоит в том, что при выполнении определенных условий (см. тему 11, вопрос 3) система переходит из равновесного состояния в неравновесное при значительном увеличении степени своей упорядоченности. В самоорганизующихся системах реализуются процессы самосохранения, позволяющие им сохранять внутреннюю устойчивость при воздействиях внешней среды, а также совершенствовать свою структуру.

Существует ряд особенностей при управлении сложными (большими) системами. Во-первых, в этом случае возникает проблема формирования цели управления. Как правило, для сложных систем имеется большое число критериев качества. Поэтому при построении «глобального» критерия возникает трудная задача согласования локальных критериев, для решения которой необходима дополнительная информация о соотношении локальных критериев между собой. Во-вторых, состояние сложной системы определяется большим числом параметров, ввиду чего состояние объекта управления не может быть точно известно управляющей системе. В-третьих, характеристики среды, влияющие на состояние объекта управления, изменяются по законам, известным управляющей системе в лучшем случае лишь приближенно. Поэтому при управлении сложной системой необходим прогноз о значениях этих характеристик к моменту выработки управляющих воздействий. Понятно, что точность любого прогноза всегда относительна.

Сложности управления большими системами обуславливают желательность применения формализованных процедур принятия решений, что требует построения моделей систем управления. Однако в силу указанных выше особенностей, построение адекватных моделей таких систем возможно лишь в отдельных случаях. Стефан Бир – один из основоположников теории систем – в качестве механизма компенсации негативных последствий, связанных с неполнотой моделей сложных систем управления,

выдвинул так называемый «принцип внешнего дополнения». Суть этого принципа состоит в необходимости корректировки решений, принятых в рамках формализованных моделей, причем сама корректировка осуществляется уже с помощью содержательных, а не формализованных процедур. Одной из важнейших задач управления сложными системами является рационализация структуры системы управления. Система управления может быть *централизованной*, когда все существенные решения принимаются центральным органом управления, и *децентрализованной*, когда решения принимаются отдельными подсистемами независимо друг от друга и от центрального органа. В централизованной системе управления вся информация о состоянии каждой ее подсистемы и о состоянии среды поступает в центральный орган управления. На основе поступившей информации центральный орган вырабатывает управляющие воздействия для каждой своей подсистемы.

Насколько эффективен процесс управления в рамках централизованной системы управления? Следует иметь в виду, что эффективное управление большой системой возможно лишь при соответствующем увеличении сложности управляющей подсистемы (это следует из закона необходимого разнообразия Эшби). В частности, управление сложной системой требует сбора и переработки очень большого количества информации. Несмотря на новые возможности, связанные с применением компьютеров, сложность управляющих подсистем при управлении организациями растет быстрее, чем их возможности по переработке информации.

Централизованная система управления отличается жесткостью своей структуры, так как приспособительные реакции объекта управления, связанные с изменениями случайного или эволюционного характера, происходящими в среде, могут происходить только по решению центрального органа управления. Преимущество централизованных систем управления состоит в том, что для них не нужны процедуры согласования принимаемых решений. Это позволяет длительное время осуществлять стабилизацию системы, подавлять флуктуации, возникающие в отдельных ее частях. Однако постепенно накапливающиеся противоречия между неизменной структурой централизованной системы и изменениями в среде приводят, в конце концов, такую систему к краху.

Преимущество децентрализованной системы управления состоит в том, что в ней органы управления могут быть максимально приближены к объектам управления. Это облегчает сбор необходимой информации об объектах управления, упрощает процесс принятия решений и контроль за их исполнением. Недостатком децентрализованной системы является множественность локальных целей и отсутствие согласованности в действиях ее подсистем, что делает децентрализованное управление малоэффективным.

Таким образом, как полностью централизованное, так и полностью децентрализованное управление непродуктивно. Возникает задача рационального сочетания централизации и децентрализации управления (некоторые кибернетики считают ее важнейшей проблемой теории управления). Наиболее перспективное направление решения этой задачи – переход к иерархической структуре управления. Характерной особенностью иерархической системы управления является разделение управляющей системы на отдельные подсистемы, между которыми вводится отношение соподчиненности. Управляющие подсистемы низшего уровня максимально приближены к объектам управления и решают относительно простые задачи управления. Управляющие подсистемы следующего уровня решают только те задачи, которые возникают при согласовании решений, принятых управляющими подсистемами низшего уровня и т.д. Стратегические задачи решаются только подсистемами высшего уровня. В иерархических системах управления возможно сочетание локальных целей, которые определяются для каждой управляющей подсистемы в зависимости от ее уровня, с глобальными целями, относящимися ко всей системе в целом. Достоинством иерархических систем управления является также то, что в них разделены потоки информации: каждая управляющая подсистема занимается переработкой только той информации, которая нужна для выполнения своей задачи. Это обеспечивает широкие адаптационные возможности иерархических систем управления к изменяющимся условиям среды.

31.6. Живой организм как кибернетическая система

Исследование механизмов управления в живых организмах – одна из важнейших задач нового раздела кибернетики – биологической кибернетики. Многоклеточные организмы проделали большой путь эволюции от простейших до человека. Они весьма разнообразны по своим размерам и уровню организации. Уровень организации и сложности даже простейших живых организмов намного превосходит уровень естественных систем неорганического мира, а также искусственных систем, создаваемых человеком. У разных видов уровень организации многоклеточных организмов неодинаков. При этом прослеживается закономерность: чем сложнее организм, тем выше его уровень организации и упорядоченность. Для поддержания высокой степени своей упорядоченности организмы должны получать из окружающей среды отрицательную энтропию (*негэнтропию*) в виде энергии и информации. Поэтому рост упорядоченности органического мира происходит за счёт уменьшения упорядоченности среды. Например, хищник истребляет травоядных животных. На прирост 1 кг биомассы хищника требуется приблизительно 10 кг массы травоядных животных. В свою очередь, рост массы травоядных животных сопровождается сокра-

щением количества растительной пищи. Таким образом, в итоге хищник повышает свою организацию за счёт дезорганизации окружающей среды.

Сложнейшие процессы обмена веществ в клетках организма, его развития из эмбриона, адаптация к внешней среде, способность к обучению – все это требует непрерывного участия тонких механизмов управления, регулирующих и направляющих течение этих процессов.

Какова же структура управления в живых организмах? Как отмечалось выше, в кибернетике различают два основных типа управления системами – централизованное и децентрализованное. Очевидно, что для таких сложных систем, какими являются живые организмы, возможность централизованного управления отпадает. Действительно, невозможно представить себе орган, способный переработать огромное количество информации о состоянии миллиардов клеток и передать её по каналам связи нужным подсистемам организма. С другой стороны, нельзя допускать и полной децентрализации, когда каждая клетка и каждый орган управляют автономно. Исследования структуры и поведения организмов свидетельствуют, что в них осуществляется *иерархическая структура управления*. Каждая клетка имеет свои регуляторные механизмы, которые отвечают за происходящие в ней обменные процессы. Самый выгодный режим работы клетки наступает при оптимальном выполнении ею своих функций по отношению к ткани. Ткани совместно выполняют свои функции по отношению к органу, а орган – по отношению ко всему организму в целом. Таким образом, оптимизация столь сложной системы, какой является живой организм, реализуется через «баланс интересов» всех её подсистем.

С точки зрения механизмов управления в организмах можно выделить четыре регулирующих системы: система крови и лимфы, эндокринная, вегетативная и центральная нервная система. Все они возникли в ходе эволюции многоклеточных организмов. Система крови и лимфы возникла тогда, когда образовалась замкнутая внутренняя среда, меняя состав которой клетки получили возможность взаимодействия. Эндокринная система появилась, когда часть клеток оказалась внутри организма, потеряла связь с внешней средой и стала регулировать деятельность внешних клеток с помощью выделения активных химических продуктов. Вегетативная система возникла в процессе специализации клеток как инструмент передачи управляющих сигналов. Центральная нервная система у беспозвоночных животных представлена системой тесно связанных друг с другом нервных узлов (ганглиев), а у позвоночных животных и человека – спинным и головным мозгом. Главным видом деятельности центральной нервной системы является осуществление сложных высококодифференцированных реакций, получивших название *рефлексов*. Этим обеспечивается регуляция деятельности отдельных органов организма, осуществление взаимодейст-

вий между ними, а также регулирование взаимоотношений организма с окружающей его средой [14–16].

Управление в организме характеризуется высокой надёжностью, которая обеспечивается следующими факторами. Все процессы осуществляются большим числом параллельно работающих клеток. Существует дублирование регулирующих механизмов за счёт участия в них нескольких систем (например, поддержание уровня кровяного давления осуществляется регулированием просвета сосудов и изменением сердечного выброса).

Процесс изменения свойств биологической системы, направленный на её сохранение или приспособление к изменяющимся условиям среды, называется *адаптацией*. Адаптация происходит, в частности, с помощью *гомеостаза*, так как живые организмы обладают способностью удерживать свои существенные параметры в допустимых пределах при изменениях условий окружающей среды.

Гомеостаз организма проявляется, например, в относительном постоянстве осмотического давления, химического состава и устойчивости основных физиологических функций. Осмотическое давление обусловлено различием концентраций растворов, входящих во внутреннюю среду организма. У наземных животных, а также у человека, осмотическое давление относительно постоянно при различных условиях окружающей среды. Постоянство осмотического давления поддерживается благодаря тому, что все процессы водно-солевого обмена регулируются центральной нервной системой, которая осуществляет свое влияние как путем непосредственных воздействий на органы, участвующие в так называемой *осморегуляции*, так и через железы внутренней секреции (например, через гипофиз). Осморегуляция в организме осуществляется с помощью регулирования водно-солевого обмена, что поддерживает на необходимом уровне концентрацию солей. Постоянный осмотический градиент приводит к проникновению через полупроницаемые мембраны микроэлементов, газов, питательных веществ и продуктов жизнедеятельности организма. Это обеспечивает постоянство ионного состава, кислотно-щелочного равновесия и объема жидкости внутренней среды организма. У человека основным органом регуляции баланса воды и солей служат почки, а также потовые железы, легкие и кишечник.

Приведем еще несколько примеров гомеостаза в организме человека.

1. Один из самых стабильных физиологических показателей – величина pH (концентрация водородных ионов). У человека она колеблется в узких пределах – от 7,32 до 7,45. Отклонение этой величины более чем на 0,3 приводит к изменению активности некоторых белков, что ведет к опасному нарушению обмена. Так, интенсивная физическая работа приводит к нарастанию концентрации углекислоты, сдвигая pH в кислую сторону. Рецепторы сосудов сигнализируют об этом в продолговатый мозг, откуда раздражение идет к дыхательным мышцам, обеспечивающим лучшую вентиляцию легких и частоту сердцебиения, что снижает концентрацию углекислого газа в крови.

2. Рассмотрим механизмы, которые удерживают в необходимых пределах концентрацию глюкозы в крови. Она должна находиться в интервале 0,07% до 0,18%. Если концентрация глюкозы падает ниже допустимой нормы, то надпочечники начинают выделять адреналин, заставляя тем самым печень превращать свои запасы гликогена в глюкозу; последняя поступает в кровь, что противодействует падению концентрации в ней глюкозы. Кроме этого, падение уровня глюкозы в крови возбуждает аппетит, побуждая организм к принятию пищи, которая доставляет ему дополнительную глюкозу. При избытке глюкозы в крови повышается секреция инсулина, вырабатываемая поджелудочной железой, что заставляет печень удалять глюкозу из крови.

3. Еще один характерный пример, иллюстрирующий механизм гомеостаза, – реакция организма теплокровного животного на изменение температуры организма. При относительно низких температурах среды терморегуляция в организме осуществляется за счёт усиления притока крови к поверхностным тканям. При достаточно высоких температурах среды в процесс терморегуляции включаются механизмы потоотделения и дыхания, обеспечивающие выделение избытка тепла.

Приведённые примеры показывают, что в целом гомеостаз организмов осуществляется с помощью механизма отрицательной обратной связи.

Тема 32. Математика и действительный мир

Основные вопросы:

32.1. Математические миры древних греков.

32.2. Поиск математических принципов устройства Вселенной в эпоху Возрождения.

32.3. Развитие математики в Новое время.

32.4. Математика XIX и XX веков.

32.1. Математические миры древних греков

Историю математики как науки принято начинать с VI века до н.э., 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 в 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.

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.

В первой половине VI в. до н.э. в Древней Греции сложилось первое в истории человечества научное сообщество – ионийская школа Фалеса Милетского. В связи со своими религиозно-философскими поисками, не преследуя никаких практических целей, Фалес занялся геометрией. В частности, он предпринял попытки пересмотра логической структуры всех известных к тому времени геометрических фактов – Фалеса интересовали не сами эти факты, а способ их доказательства.

К середине VI в. до н.э. относится создание еще одной философской и научной школы – Пифагорейского союза, просуществовавшего более полутора веков. 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 Пифагором, гласит, что мир есть число. Число воспринималось пифагорейцами как божественное начало и сущность мира.

В современной терминологии основной тезис Пифагора 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 дедуктивную науку.

Начиная с III века до н.э., на протяжении семи столетий основным центром математических идей становится Александрия. Наибольшей плодотворности математическое творчество достигает в первое столетие александрийского периода – этой эпохе принадлежат Евклид, Архимед, Эратосфен, Аполлоний. Выдающуюся роль в дальнейшей математизации есте-

ствознания сыграли «Начала» Евклида. Эта работа 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. Тем самым «Начала» Евклида послужили толчком к созданию концепции логического, математического подхода к познанию природы. Первоначально сочинение Евклида рассматривалось как изложение 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.

Деятельность Архимеда способствовала математизации механики и превращению ее в самостоятельную область знания. Среди математических исследований Архимеда особенно важны его труды, связанные с определением площадей и объемов тел методом исчерпывания, предвосхищавшие интегральное исчисление.

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.

Из физических дисциплин наибольших успехов древние греки достигли в астрономии. Платон хорошо был осведомлен о большом числе астрономических наблюдений, проведенных в Древнем Египте и Вавилоне. При этом он неоднократно подчеркивал, что ни египтяне, ни вавилоняне не имели теории, которая могла бы объяснить наблюдаемые особенности движения планет.

Один из учеников платоновской Академии Евдокс (чья геометрическая работа включена в V и XIII книги «Начала» Евклида), построил чисто математическую модель космоса, основу которой составляли комбинации вращений концентрических сфер. Следует иметь в виду, что в теории Евдокса сферы были не материальными, а *математическими* конструкциями. Поэтому Евдокс даже не пытался выяснить, какие силы вынуждают эти сферы вращаться. Модель Евдокса представляла собой не физическое объяснение, а математическое описание.

Создатель геоцентрической системы Птолемей, живший почти пять веков спустя после Евдокса, также отчетливо сознавал, что его система есть не более чем удобное математическое описание, хорошо согласующееся с наблюдениями, а потому она не обязана объяснять истинный механизм движения планет.

Исходным пунктом мировоззрения греков был тезис о том, что Вселенная основана на математических принципах, поэтому ключом к пониманию существующего в природе порядка является математика. Тем самым греки утвердили главенствующую роль математики в изучении явлений природы, что впоследствии превратило ее в фундамент естествознания.

32.2. Поиск математических принципов устройства Вселенной в эпоху Возрождения

Мощный интеллектуальный подъем, произошедший в эпоху Возрождения, был обусловлен многими факторами, одним из которых явилось возрождение античных идеалов познания природы. Географические открытия, 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. Распространению знаний способствовало изобретение книгопечатания (середина XV в.). К началу XVI в. провозглашенная греками цель науки – изучение явлений природы с помощью математики – проникла 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 исходить из математических идей. 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. Наиболее ярким примером происходящего в Европе XVI–XVII вв. синтеза греческого учения о «математизированной» Вселенной с верой в ее божественное происхождение являются труды Николая Коперника и Иоганна Кеплера (см. темы 3, 4). 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.

Значительные упрощения в схему Коперника внес Иоганн Кеплер. Как и Коперник, Кеплер, считал, что мир создан Богом в соответствии с простым и красивым математическим планом. Ведущей для Кеплера стала идея гармонии. При этом Кеплер отчетливо сознавал, что теория должна находиться в соответствии с наблюдениями (в 1600 г., будучи еще ассистентом знаменитого астронома Тихо Браге, Кеплер получил от него «в наследство» бесценный дар – данные его многолетних астрономических наблюдений). 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. Важным является тот факт, что 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.

Коперник и Кеплер создали некий синтез, сочетающий основанный на математике античный подход к природе с церковными догматами о Боге – творце и создателе Вселенной. Человеком, который решил построить новую систему мира, отличную от аристотелевской, был Рене Декарт. 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 «четырех 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 [17].

Среди мыслителей эпохи Возрождения, деятельность которых способствовала становлению современного естествознания, выдающаяся роль принадлежит Галилео Галилею. Он также 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 понимаю 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 – треугольники, 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. Наи-

более 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 [17]. 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 способностью 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 предположенными 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.

32.3. Развитие математики в Новое время

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 посылки надлежит устанавливать с помощью индукции, обрабатывая результаты экспериментов и наблюдений. В рамках этой философии Ньютон изменил всю методологию научного познания, приняв за основу математические посылки вместо физических гипотез (см. [17]).

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. 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 астронома Тихо Браге), представляют собой чисто математические следствия законов Ньютона. Используя закон всемирного тяготения, Ньютон сумел объяснить 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. Ньютон и его последователи установили, что движение комет также согласуется с законом всемирного тяготения; тем самым кометы были признаны членами Солнечной системы (а не «пришельцами космоса, сулящими кару», как это считалось раньше). 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).

Несмотря на грандиозные успехи, достигнутые Ньютоном и его последователями в изучении гравитации, ему так и не удалось объяснить физический механизм этого явления. Но хотя природа силы тяготения не была установлена, *математические* выводы из закона тяготения оказались

столь эффективными, что они превратились в неотъемлемую часть физической науки и продемонстрировали возможности математики в описании явлений действительного мира. Осуществляя программу поиска универсальных законов, Ньютон получил ряд важных результатов по алгебре и анализу. Особенно велик его вклад в создание дифференциального и интегрального исчисления.

На протяжении всего XVIII в. математики, составлявшие в ту эпоху большинство ученых, неукоснительно следовали подходам Ньютона. В частности, в «Аналитической механике» Лагранжа механика рассматривается с чисто математических позиций, а ссылки на физические аргументы весьма редки. Когда начали формироваться новые разделы физики – гидродинамика, теория упругости, электромагнетизм, – их создатели избрали тот же подход, который использовал Ньютон применительно к механике и астрономии: конкретность физического мира заменяется математическими формулами. Усилиями выдающихся математиков XVIII века (в первую очередь к ним относятся Леонард Эйлер, Жан Даламбер, Жозеф Лагранж, Пьер Лаплас) были существенно развиты методы математического анализа явлений природы, однако используемые ими доводы в пользу истинности математических законов естествознания в основном были повторением аргументов их предшественников.

В качестве одного из подтверждений математических принципов, лежащих в основе устройства мира, рассматривались открытые в XVII–XVIII вв. так называемые *принципы экономии*, согласно которым Природа всегда действует «самым экономным образом».

- Еще в I веке Герон установил, что, отражаясь от зеркала, свет распространяется по кратчайшему пути, а так как скорость света постоянна, то отсюда следует, что свет переходит из одной заданной точки в другую за кратчайшее время. На основе этого один из крупнейших математиков XVII в. Пьер Ферма сформулировал общий принцип для распространения света: свет движется по такому пути, на преодоление которого требуется наименьшее время. Отсюда вытекает закон преломления света при переходе из одной оптической среды в другую (этот закон был открыт ранее Снеллиусом и Декартом). А Христиан Гюйгенс доказал, что этот принцип верен для распространения света в среде с непрерывно изменяющимися оптическими свойствами. К этому же ряду можно отнести и первый закон Ньютона: всякое тело, на которое не действуют силы, движется по кратчайшему маршруту. Все эти открытия наводили ученых того времени на мысль о «совершенной Вселенной», устроенной по принципу наибольшей экономии.

Впервые точную математическую формулировку одного из этих принципов предложил французский математик Пьер Мопертюи в 1744 г., так называемый *принцип наименьшего действия*. Согласно этому принципу, все явления природы протекают так, что некоторая величина, называемая *действием*, оказывается минимальной (формально действие определялось как произведение количества движения на перемещение). Более точ-

ную и более общую формулировку принципу наименьшего действия впоследствии дал Лагранж (при этом «действие» свелось к энергии). На основании обобщенного принципа наименьшего действия удалось получить решение многих задач механики. Дальнейшее обобщение принципа наименьшего действия осуществил уже в XIX в. английский математик У. Гамильтон. По образцу принципа наименьшего действия были сформулированы и используются по настоящее время аналогичные принципы в приложениях к другим областям физики; в современной терминологии они носят название *вариационных принципов*. Сам Мопертюи придал принципу наименьшего действия теологическую трактовку: законы движения материи должны обладать совершенством, достойным замысла творца, а принцип наименьшего действия служит подтверждением божьей мудрости. Сходных взглядов придерживался величайший математик XVIII века Леонард Эйлер, которому принадлежат следующие слова: «Поскольку наш мир устроен наисовершеннейшим образом и является творением всеведущего творца, во всем мире не происходит ничего такого, в чем не было бы воплощено какое-либо правило максимума или минимума». Однако к середине XIX в. ученые отказались от точки зрения Мопертюи и Эйлера, согласно которой принцип наименьшего действия включен божественным провидением в схему природы.

32.4. Математика XIX и XX веков

Все разделы математики, созданные в XVII и XVIII веках, продолжали интенсивно развиваться в последующие века. При этом существенно возросли возможности применения математики к задачам, выдвигаемым естествознанием и техникой. Кроме того, в развитии самой математики наметились новые черты.

В начале XIX в. математика считалась самой совершенной из всех наук: ее аксиомы рассматривались как самоочевидные утверждения, а теоремы доказывались с помощью, казалось, безупречных рассуждений. Тем самым математические теоремы имели статус абсолютных истин. Результаты, полученные выдающимися математиками XIX в. – К. Гауссом, О. Коши, Ж. Фурье – могли привести к выводу, что математика все более точно подходит к разгадке тайн мира, сотворенного, как считалось, Богом на математической основе. Однако вера в Бога как создателя математического плана Вселенной постепенно шла на убыль, а творческая работа самих математиков вытесняла теологическую трактовку законов природы. Характерным в этом отношении явилось открытие неевклидовой геометрии. Геометрия, созданная Евклидом, была наиболее почитаемым разделом математики потому, что, во-первых, с нее началось дедуктивное построение математики, а, во-вторых, ее теоремы, как считалось на протя-

жении двух тысячелетий, полностью соответствуют результатам физических наблюдений. До начала XIX в. никто не сомневался, что существует только одна геометрия – геометрия Евклида – и именно она является геометрией реального физического пространства.

В середине XIX в. русский математик Николай Иванович Лобачевский построил новую геометрию, отличную от геометрии Евклида (независимо от Лобачевского к выводу о возможности построения «другой» геометрии пришли Карл Фридрих Гаусс и Янош Бойаи). Геометрия Лобачевского отличалась от геометрии Евклида заменой V постулата его отрицанием. Некоторые теоремы геометрии Лобачевского совпадали с теоремами евклидовой геометрии, другие кардинально отличались от них. Например, в геометрии Лобачевского, названной ее творцом «воображаемой», в отличие от евклидовой геометрии, сумма углов треугольника не равняется 180° и вообще является не постоянной, а переменной величиной. Вначале Лобачевский считал, что «воображаемая» геометрия приведет к противоречию, что явилось бы доказательством невозможности отказа от V постулата Евклида. Однако никаких противоречий в этой новой геометрии не обнаруживалось.

Впоследствии было установлено, что геометрия Лобачевского является непротиворечивой (если непротиворечива геометрия Евклида). Таким образом, в логическом отношении геометрия Лобачевского и геометрия Евклида имеют одинаковый статус. Построение Лобачевским неевклидовой геометрии лишило математику положения науки, претендующей на открывание «абсолютных истин»: раз существует несколько геометрий, равноправных в логическом отношении, то вопрос о том, какая из них «лучше всего» описывает реальное пространство, *становится вопросом эмпирическим, решаемым вне рамок самой математики.*

Существовавшее до середины XIX в. представление о математике как о науке, утверждения которой бесспорны и абсолютны, оказалось поколебленным. А осознание того, что математика не является «сводом окончательных истин», сказалось и на естествознании в целом: если даже такая сугубо теоретическая наука, как математика, имеет свои начала в человеческом опыте, то и любая естественнонаучная теория, использующая математику, также не может считаться абсолютной истиной.

Вместе с тем, на протяжении последующих веков математика интенсивно развивалась, находя все новые области своих приложений. В начале XIX в. расширились приложения математического анализа: если до этого времени основными «потребителями» математики были механика и астрономия, то теперь к ним присоединяются электродинамика и термодинамика. В качестве основного аппарата исследования новых областей механики и математической физики активно разрабатывается теория дифференциальных уравнений в частных производных. В рамках математической фи-

зики возникает векторный анализ, значительный вклад в развитие которого внесли английский математик Дж. Стокс и русский математик М. В. Остроградский.

Многие разделы математики XIX и XX вв. развивались на основе ее «внутренних» потребностей. Так, в первой половине XIX в. возникает теория функций комплексной переменной, основы которой были заложены О. Коши. После того, как французский математик Э. Галуа свел разрешимость уравнений в радикалах к свойствам связанных с ним групп, усилился интерес математиков к изучению групп общего вида.

Однако значение теории групп для математики было оценено только после работ французского математика К. Жордана, выполненных в 70-х гг. XIX века. В течение всего XIX века и в дальнейшем активно развивается дифференциальная геометрия, общие основы которой были разработаны еще К. Гауссом. Особое внимание математиков XX века привлекала дифференциальная геометрия многомерных пространств – в связи с возникновением общей теории относительности.

В конце XIX в. создаются основы математической логики, которая применяется, в частности, в исследованиях по основаниям математики. В 1879–1884 гг. публикуются работы Георга Кантора по теории бесконечных множеств, на базе которых были сформулированы современные представления о предмете математики и структуре математических теорий. Согласно этим представлениям, каждая математическая теория должна быть построена аксиоматически и абстрагирована от ее реального происхождения; далее она развивается как замкнутая в себе и логически непротиворечивая теория, основные понятия которой не требуют внесения в них никакого содержания извне, кроме того, которое заключено в ее аксиомах.

На рубеже XIX и XX вв. кардинальные изменения произошли в старейшей ветви математики – алгебре. Уже во второй половине XIX века в алгебре возникают новые числовые системы – поля алгебраических чисел, кватернионы, гиперкомплексные числа.

В конце 20-х – начале 30-х годов XX века в алгебру проникли теоретико-множественные подходы, что привело ее к радикальной перестройке: основным объектом алгебры стали алгебраические операции произвольной арифметичности, производимые над элементами любой природы. Во второй половине XX века возникли и стали активно развиваться новые разделы алгебры: гомологическая алгебра, топологическая алгебра, теория решеток, теория полугрупп, теория квазигрупп, теория моделей, теория категорий. В самостоятельные разделы математики превратились такие ее направления, как теория вероятностей, топология и функциональный анализ. В связи с развитием кибернетики и компьютерной техники бурное развитие получила дискретная математика.

Математика XX века сильно переросла границы, в которые был заключен ее предмет в прошлые столетия (напомним, что по определению Ф. Энгельса, математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира). В тесной связи с потребностями техники и запросами естествознания изучаемый математикой спектр количественных отношений и пространственных форм постоянно расширялся. Например, уже в середине XIX века стало ясно, что геометрия может изучать геометрические системы гораздо большей степени общности, чем геометрия трехмерного евклидова пространства. Сам термин «пространство» получил в математике несравненно более широкое толкование (например, фазовое пространство любого числа измерений в механике и физике).

В настоящее время использование геометрических подходов при построении и изучении математических моделей в различных областях знания (физике, химии, астрономии, биологии, медицине, экономике, социологии и др.) основано на рассмотрении пространств, точки которых трактуются как состояния реально существующих систем, а изменения состояний этих систем – как точечные преобразования пространств.

Аналогичное расширение содержания коснулось также алгебры: обычные величины и числа оказались лишь частными случаями объектов, изучаемых в современной алгебре, – последняя стала трактоваться как наука о произвольных алгебраических структурах, свойства которых задаются аксиоматически. Бурбаки (коллектив выдающихся математиков второй половины XX века) характеризуют содержание математики как изучение всевозможных математических структур; при этом под *структурой* понимается некоторое множество элементов произвольной природы с заданной системой отношений между этими элементами, удовлетворяющих определенным аксиомам. Универсальная приложимость математики к явлениям действительности в значительной степени объясняется тем, что в окружающем мире «реализуется» весьма ограниченный набор математических структур, главными из которых являются алгебраическая, линейная, метрическая и топологическая.

Тема 33. Математика и естествознание

Основные вопросы:

- 33.1. *Взаимосвязи математики с другими областями знания со времен Античности до начала XIX века.*
- 33.2. *Взаимосвязи математики с естествознанием и практикой в XIX–XX веках.*
- 33.3. *Математическое моделирование.*
- 33.4. *Чистая и прикладная математика.*

33.1. Взаимосвязи математики с другими областями знания со времен Античности до начала XIX века

Становление и развитие математики происходило при ее тесном взаимодействии с другими областями знания, а также с практикой. Первые шаги механики и физики использовали весьма ограниченный запас понятий и методов элементарной математики, сложившихся в VI–V вв. до н.э. в Древней Греции. основополагающая идея древних греков – постижение физической картины мира на базе математики – привела к развитию геометрии и астрономии. Греки также заложили основы такой важной естественной науки, как механика, а в «Физике» Аристотеля все высшие достижения греческой механики были сведены воедино. Как и вся аристотелевская физика, его механика не использовала математики и опиралась на «самоочевидные принципы», которые согласуются с наблюдениями. Математический характер механика стала обретать благодаря Архимеду – достаточно указать на его работы по определению центров тяжести тел и созданную им теорию рычага. 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.

Из естественных наук, наряду с астрономией и механикой, в эпоху Античности развивалась оптика, основы которой также были заложены греками. Многие греческие философы, начиная с пифагорейцев, строили умозрительные заключения, касающиеся природы света, зрения и цвета. В частности, известно априорное утверждение Эмпедокла (около 490 г. до н.э.) о том, что свет распространяется с конечной скоростью. К систематическим исследованиям света, сохранившимся до нашего времени, относятся сочинения Евклида «Оптика» и «Катоптрика». Оба этих сочинения Евклида являются чисто математическими – как по своему содержанию, так и по структуре. основное место в них, как и в «Началах» Евклида, отводится определениям, аксиомам и теоремам. Первая теорема, играющая основополагающую роль в геометрической оптике, известна как *закон отражения*. Она утверждает, что угол, образуемый с поверхностью зеркала лучом света, падающим на зеркало, равен углу, образованному отраженным лучом. В I в. н.э. Герон александрийский вывел из закона отражения важное следствие: луч света распространяется по кратчайшему пути.

Греки также явились основателями некоторых других естественных наук, например, географии и гидростатики. Один из наиболее образованных людей Античности, Эратосфен сумел вычислить расстояния между

многими известными тогда населенными пунктами Земли. Самым обширным сочинением той эпохи по географии было 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, впервые используя для этого их географические координаты – широту и долготу (идея введения географических координат принадлежит выдающемуся астроному Античности Гиппарху, жившему во II в. до н.э.).

В Средние века в странах Востока в связи с ростом торговли, потребностями в гидротехнике и геодезии развивается вычислительная математика. Единственной наукой, которая стимулировала в то время развитие новых теоретических разделов математики, была астрономия, способствовавшая, в частности, становлению плоской и сферической тригонометрии. В эпоху Возрождения резко возрастают запросы к математике со стороны инженеров, строителей, военных, мореплавателей. 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 [18].

Математика начинает играть особую роль в естествознании – опора на математику становится методологической нормой. Начиная с работ Галилея, математическая символика практически полностью вытеснила кабалистическую, 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».

На протяжении XVII века 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 ставят перед математикой картография, баллистика, гидравлика, навигация. Образцом применения математики к решению технических задач того времени может служить книга Х. Гюйгенса «Маятниковые часы» (1673). 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 веке 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 век, 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.

33.2. Взаимосвязи математики с естествознанием и практикой в XIX–XX веках

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 комплексной переменной 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 (см. тему 5, вопрос 4). 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 геометрия.

К концу XIX века Центр мировой математической мысли перемещается в Германию. В Гёттингенском университете работают крупнейшие математики того времени – Феликс Клейн, Давид Гильберт, Герман Вейль. В противоположность Д. Гильберту, гордо называвшему себя «чистым» математиком, Ф. Клейн проявлял глубокий интерес к физике и физическим проблемам (одна из его первых книг, написанная в сотрудничестве с физиком и математиком Арнольдом Зоммерфельдом, была посвящена теории волчка). Для научной деятельности Г. Вейля характерен подход, при котором математические построения являются фундаментом для физических теорий, а физические соображения являются определяющими для введения математических конструкций. В 1913 г. Вейль переезжает в Цюрих, становясь коллегой А. Эйнштейна. В цюрихском политехникуме Вейль читает курс лекций по общей теории относительности, составивший основное содержание его знаменитой книги «Пространство, время, материя». Главным «научным детищем» Г. Вейля является теория представлений групп и ее физические приложения. Именно Г. Вейлем была выявлена решающая роль симметрий при изучении физических явлений – как микро,- так и макромира.

В XX веке связи математики с естествознанием еще более усиливаются. Запросы бурно развивающейся промышленности, техники, практики, а также наук, исследующих природные процессы, ставят перед математикой новые задачи. Это приводит либо к созданию новых математических теорий, либо к развитию классических теорий, созданных в предшествующие века. В качестве иллюстрации возникших в математике XX века прикладных теорий того и другого типа рассмотрим два примера.

Пример 1. Геометрия фракталов

Фракталами называют самоподобные геометрические структуры, фрагменты которых повторяются при уменьшении масштаба. Обычно фракталы задаются не в «окончательном виде», а с помощью закона (алгоритма), указывающего способ их построения. При этом каждый последующий шаг алгоритма «проявляет» все большее число деталей фрактала. Термин «фрактал» ввел в употребление в 1975 г. американский математик, сотрудник корпорации IBM Бенуа Мандельброт (следует отметить, что в его работах использовались результаты крупных математиков конца XIX – начала XX вв. – Пуанкаре, Кантора, Хаусдорфа). В 1977 г. появилась книга Б. Мандельброта «Фрактальная геометрия природы», которую связывают с рождением фрактальной геометрии. Фракталы возникают естественным образом в различных вопросах математики (например, в теории множеств, при доказательстве существования совершенных нигде не плотных множеств; в теории меры при построении функции распределения сингулярной меры и др.). В механике и физике фракталы используются благодаря своему уникальному свойству повторять очертания многих объектов природы. Идеи фрактальной геометрии проникли в синергетику: при фрактальном подходе хаос перестает быть синонимом беспорядка и обретает так называемую «тонкую структуру». В настоящее время наибольшие приложения фракталы находят в компьютерной графике (фрактальное сжатие изображений, построение ландшафтов, генерирование фрактальных текстур).

Примеры фрактальных структур, встречающихся в природе, – коллоиды, отложения частичек металла при электролизе, растущие организмы. С помощью фракталов можно приближать такие природные объекты, как контуры береговых линий, деревья, горные поверхности, трещины с более высокой точностью, чем с помощью отрезков и многоугольников. В отличие от Галилея, считавшего, что знаки «Книги Природы» – это треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, многие современные ученые считают, что «Книга Природы» написана на языке фракталов [19].

Пример 2. Аэрогидромеханика

Фундаментальные труды Галилея, Гюйгенса и Ньютона XVII века заложили основы теоретической механики, что явилось предпосылкой в развитии аэрогидромеханики. Честь создания гидродинамики как специальной области математики принадлежит двум академиком Российской Академии наук – Леонарду Эйлеру и Даниилу Бернулли. Эйлер впервые вывел основную систему уравнений движения идеальной несжимаемой жидкости, положив этим начало аналитической механике сплошной среды. Даниил Бернулли внес значительный вклад в развитие аэрогидромеханики своим трудом «Гидродинамика». В частности Бернулли доказал теорему, устанавливающую связь между давлением, уровнем и скоростью движения тяжелой жидкости, которая является фундаментальной теоремой гидродинамики. Следующий этап истории аэрогидромеханики, относящийся уже к XIX веку, знаменуется, с одной стороны, дальнейшей математической разработкой гидродинамики идеальной жидкости, и с другой – зарождением двух новых разделов, имеющих особо важное значение для современной аэрогидродинамики: динамики вязкой жидкости и газовой динамики. Развитие механики вязкой жидкости отвечало практическим запросам со стороны таких областей техники, активно развивавшихся в XIX веке, как гидравлика, гидротехника, проблемы трения в машинах, физика и химия нефти.

В XX веке развитие гидромеханики и аэродинамики стимулировалось появлением авиации и запросами метеорологии. Значительный вклад в создание авиации внесли

русские ученые Н. Е. Жуковский, К. Э. Циолковский, Д. И. Менделеев. В 1896 г. К. Э. Циолковский создал одну из первых аэродинамических труб, на которой он проводил опыты по определению сопротивления тел. Ему принадлежит целый ряд смелых технических идей: о возможности освоения мирового пространства с помощью ракет, первые проекты ракетопланов, цельнометаллических дирижаблей и ряд других. Важнейшую роль в развитии современной гидроаэромеханики сыграли математические работы Н. Е. Жуковского и его ученика С. А. Чаплыгина. Н. Е. Жуковскому с помощью аппарата теории аналитических функций удалось вывести формулу подъемной силы крыла, ставшую основой теоретической аэродинамики.

Современная аэромеханика подразделяется на теоретическую и экспериментальную. Одним из важнейших разделов теоретической аэромеханики является газовая динамика, изучающая движение сжимаемых газообразных тел. Именно таким телом является воздух: при современных больших скоростях полета его сжимаемость вносит много существенно нового по сравнению с течением несжимаемой жидкости. Экспериментальная аэромеханика изучает движение воздуха и его силовое воздействие с помощью постановки опытов в специальных аппаратах, в аэродинамических лабораториях, а также путем исследования летательных аппаратов в летных испытаниях.

Приведенные примеры наглядно демонстрируют сложный и многогранный процесс взаимодействия современной математики как с ее классическими разделами, так и с другими естественнонаучными дисциплинами, а также с практикой. Для математики XX века характерно проникновение практически во все области знания – как естественнонаучного, так и гуманитарного. Помимо применения в таких областях, как физика, астрономия и химия, сложившегося в классический период естествознания, в XX веке обнаружилась эффективность математики в биологии, медицине, экологии, истории, социологии, лингвистике. Приложения математики в гуманитарных областях способствовали развитию дискретной математики, предметом изучения которой являются конечные множества. Начиная с XVII века, центральное положение в математике занимало изучение функций непрерывно меняющегося аргумента, являющееся основой ее приложений к естествознанию и к технике. Поэтому с конца XVII в. и до первой половины XX в. считалось, что основную роль в математике играют понятия, связанные с бесконечными множествами, предельным переходом и непрерывностью. Во второй половине XX в. стало ясно, что разделы конечной математики, не связанные с понятием предельного перехода, играют в ней также весьма важную роль. Этот поворот во взглядах на математику был обусловлен двумя обстоятельствами: развитием кибернетики и появлением цифровых вычислительных машин.

33.3. Математическое моделирование

Одним из важнейших методов современной науки является метод моделирования. Модель изучаемого объекта (или явления) представляет собой некоторый его упрощенный образ, отражающий, вместе с тем, оп-

ределенные черты исходного объекта, важные с точки зрения исследователя. Поэтому связи и отношения, обнаруженные в модели, можно со значительной степенью достоверности перенести на изучаемый объект. Имеются различные типы моделей, например: *материальные (предметные) модели*, которые воспроизводят некоторые геометрические и физические свойства оригинала и всегда имеют реальное воплощение; *вербальные модели* характеризуются тем, что в них информация об объекте задается средствами обычного (разговорного) языка; *знаковые модели* представляют собой модели, в которых информация о моделируемых объектах представлена с помощью некоторого формального языка; *компьютерные модели* – модели, реализуемые средствами программной среды.

Среди знаковых моделей особое место занимают математические модели. Они характеризуются тем, что в них информация об исследуемых объектах или явлениях представлена на математическом языке с помощью математических символов – чисел, функций, уравнений, неравенств, матриц и т.п. При построении математической модели изучаемого объекта или явления выделяют те его особенности, черты и детали, которые, с одной стороны, содержат важную (с точки зрения исследователя) информацию об объекте, а с другой – допускают математическую формализацию.

Формально математическая модель есть математическая структура (то есть набор математических объектов, заданный вместе с отношениями между ними), причем элементы модели трактуются как реальные объекты, а абстрактные отношения – как связи между объектами. Математическая модель позволяет составить компактную и легко обозримую сводку известных исследователю свойств и взаимосвязей объектов действительности, которая дает возможность на строгой логической основе анализировать и даже предсказывать результаты будущих наблюдений. Эта универсальность математического моделирования дала основание выдающемуся современному физико-математическому лауреату Юджину Вигнеру говорить о «непостижимой приложимости математики к естественным наукам».

Важно иметь в виду, что любая модель реально существующего объекта или явления представляет определенное его упрощение. Не составляют исключения здесь и математические модели. Скажем, евклидова геометрия, являющаяся моделью реального физического пространства, представляет собой его упрощенный идеализированный образ. В отличие от этой «математической геометрии» существует «физическая геометрия», зародившаяся до нее как эмпирическая естественнонаучная дисциплина, предметом которой является изучение таких специфических свойств реальных тел, как их размеры, форма и простейшие числовые характеристики. «Математическая геометрия» возникла из «физической» путем идеализации свойств реальных тел, обобщения и предельного упрощения наблюдаемых фактов, связанных с ними. Эта идеализация произошла в результа-

те осмысления данных многочисленных экспериментов, производимых над натянутыми веревками и лучами света (получивших в математической геометрии название «прямых»), поверхностями пластин и плит (получивших название «плоскостей») и т.п. В то же время, сделанные на логико-математической основе выводы об объектах математической геометрии, могут быть перенесены на объекты физической геометрии, которые, с определенной долей условности, можно считать реально существующими телами [20]. Таким образом, взаимоотношения между математической и физической геометрией иллюстрируют общий ход развития научного знания: вначале идет длительный период накопления эмпирических фактов, затем происходит процесс их осмысления и обобщения, приводящий к построению некоторой дедуктивной теории, затем выводы построенной теории переносятся на исходные объекты. Если при этом наблюдается некоторое несоответствие между математическими выводами и физическими наблюдениями, то это приводит к необходимости модификации теории, построению новой абстрактной схемы, которая лучше, точнее соответствует наблюдениям (скажем, в рамках изучения физического пространства это привело к построению вначале «обычной», то есть евклидовой геометрии, а затем к появлению неевклидовых геометрий).

В настоящее время математические модели используются во всех сферах научной и практической деятельности. При этом, несмотря на различие в содержании этих моделей и используемого в них математического аппарата, у них есть одно общее свойство: изучение моделей сложных систем требует использования компьютерной техники. Реальные эксперименты во многих важных областях человеческой деятельности и в естествознании (таких, как экономика, социология, военное дело, ядерная физика, геология, метеорология) либо невозможны в принципе, либо являются чрезвычайно дорогостоящими. Единственным выходом здесь является построение и анализ математических моделей с использованием компьютеров. Таким образом, применение компьютеров и информационных технологий позволяет не только с большой точностью проводить громоздкие вычисления – оно способствует появлению новых взглядов на реально возникающие проблемы в науке и практике, придавая тем самым новый облик всему естествознанию.

33.4. Чистая и прикладная математика

Для математики XIX и XX веков ее связи с естествознанием, как отмечает академик А. Н. Колмогоров (см. [18]), приобретают более сложные формы: новые математические теории возникают не только в результате непосредственных запросов естествознания или техники, но также из внутренних потребностей самой математики. При этом абстрактные мате-

математические теории находят (иногда спустя многие годы и десятилетия) применения в практических областях, о которых подчас не могли даже подозревать создатели этих теорий. Так, Коши и Риман, создавая основы теории функций комплексной переменной, не могли предполагать о ее приложениях в гидро- и аэромеханике. Закладывая основы функционального анализа, Д. Гильберт не мог знать о его важной роли в созданной позднее квантовой механике, а Дж. Буль, разрабатывая формализацию аристотелевской логики, не догадывался о применимости созданного им формального аппарата к конструированию ЭВМ.

Абстрактный характер математических теорий приводит к тому, что сразу дать им «адекватную» оценку становится практически невозможным. Например, когда французский математик Анри Лебег ввел крайне общее для своего времени понятие меры, многим математикам оно казалось продуктом «игры ума». После исследований Э. Бореля и А. Н. Колмогорова оказалось, что понятие меры по Лебегу играет важнейшую роль в теоретических основах теории вероятностей и математической статистики.

История знает немало примеров ошибочных оценок новых математических теорий со стороны крупных математиков. Так, М. В. Остроградский отрицательно отзывался о созданной Лобачевским неевклидовой геометрии; Л. Кронекер враждебно относился к теории множеств Кантора; известный астрофизик Дж. Джинс считал бесполезной для физиков теорию групп; ряд известных математиков порицали такие направления в математике (впоследствии оказавшиеся важнейшими), как топология или математическая логика. Произшедший в XIX веке рост специализации математики имел своим последствием ее разделение на чистую и прикладную. Однако это деление в значительной мере является условным: дело в том, что эти два направления математики теснейшим образом связаны между собой.

Характерным примером теории, в которой оказались переплетенными математические и прикладные аспекты, является теория групп. Она восходит к работам Ж. Лагранжа, который еще в 1770 г. изучал группы подстановок в связи с чисто математической проблемой разрешимости в радикалах алгебраических уравнений. Окончательный ответ на этот вопрос был получен Э. Галуа в 1832 г. (этот результат считается одним самых выдающихся достижений математики XIX века).

В середине XIX в. английский математик А. Кэли ввел понятие абстрактной группы, что дало мощный толчок развитию алгебраической теории групп. В 1872 г. выдающийся немецкий математик Феликс Клейн сформулировал взгляд на геометрию как на науку, изучающую те свойства фигур, которые являются инвариантными относительно некоторой группы преобразований. Групповая точка зрения на геометрию способствовала тому, что наряду с евклидовой геометрией, «нашли свое место» другие ви-

ды геометрий – аффинная, проективная, геометрия подобий, а также топология. В 70-е годы XIX в. норвежский математик Софус Ли создает теорию непрерывных групп, методы которой впоследствии проникли в новые области математики и физики. В частности, Ли открыл так называемые *контактные преобразования*, благодаря которым вся гамильтонова механика «подводится» под теорию групп. В 1890–1891 гг. русский геометр Е. С. Федоров и немецкий математик Шенфлис обнаружили применение теории групп в кристаллографии. Несколько позднее были найдены важные приложения теории групп в квантовой механике. Теоретическая физика последних десятилетий занимается поисками группы симметрий фундаментальных взаимодействий.

- Роль теории групп в физике элементарных частиц вкратце объясняется следующим. Согласно законам квантовой механики, если физический объект обладает некоторой симметрией, то существует определенная группа G операций, сохраняющих эту симметрию, а возможные квантовые состояния объекта находятся в точном соответствии с представлениями группы G . В рамках математики все «хорошо устроенные» группы и их представления с помощью преобразований были описаны и классифицированы математиками безотносительно к тем физическим применениям, в которых эти группы могут быть использованы. На основе этого оказалось возможным построить теорию симметрии элементарных частиц, опирающуюся на абстрактные свойства групп и их представлений.

Одним из важнейших понятий современной физики элементарных частиц является понятие суперсимметрии. Первоначально это понятие было сформулировано на чисто математическом языке и лишь в дальнейшем возникла физическая интерпретация суперсимметрии как симметрии между бозонными и фермионными полями. В рамках такого подхода бозоны и фермионы присутствуют как разные компоненты одного и того же суперполя. Появилась надежда, что на базе суперсимметрии можно представить разные виды фундаментальных взаимодействий как разные проявления единого глубинного явления.

Из других разделов математики, играющих большую роль в современном естествознании, следует назвать теорию вероятностей. Основы этой теории были заложены еще в конце XVII века в работах П. Ферма, Б. Паскаля и Х. Гюйгенса. В создание аналитического аппарата теории вероятностей значительный вклад внесли французские ученые П. Лаплас, С. Пуассон, а также русский математик и механик П. Л. Чебышев, знаменитая теорема которого дает наиболее общую формулировку закона больших чисел (1867).

Отражением механистических концепций, сформировавшихся к первой половине девятнадцатого столетия, было убеждение большинства ученых о наличии в природе однозначных (функциональных) связей между физическими величинами и возможности описания таких связей с помощью дифференциальных уравнений. Законы, выражающие существующие в природе закономерности в форме функциональной зависимости интересующих нас величин от характеристик процесса, а также от времени, назы-

ваются *динамическими*. Понятие о вероятностных физических закономерностях в природе было внесено в физику Дж. Максвеллом в середине XIX века (на базе изучения молекулярно-кинетических свойств газов). В математике это дало новый импульс развитию теории вероятностей. В современной физике к числу фундаментальных вероятностных (статистических) теорий относят такие ее важнейшие разделы, как статистическая физика и квантовая механика; при этом многие ученые считают статистические законы наиболее глубокой и наиболее общей формой описания физических закономерностей.

Большинство физиков согласно с тем, что крупные успехи в физике достигались благодаря синтезу эмпирических наблюдений с математическими конструкциями. Самые яркие примеры этого – общая теория относительности и квантовая механика. Современный американский физик-теоретик Фримен Дайсон замечает [21]: «Математика для физика это не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории». Хотя физика немыслима без математики и математических понятий, она не сводится к ним: физика развивается не с помощью математической логики, а с помощью физической интуиции. В качестве характерного примера здесь можно привести теорию относительности. 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» 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».

Разумеется, не все естественные науки нуждаются в математике в такой же степени, как физика. Например, в биологии основное – это процессы жизни, которые далеко не всегда сводятся к числовым характеристикам; в то же время та сторона биологических явлений, которая определяется физико-химическими процессами, допускает естественную математизацию. В геологии термин «математическая геология» появился только во второй половине XX века. В настоящее время некоторые новые разделы геологии не могут развиваться без математики; к ним относятся, например, *седиментология* – наука об образовании осадков, *петрофизика*, *тектонифизика* и ряд других. Возникла *аналитическая геология* – научная дисциплина, занимающаяся математическим моделированием геологических про-

цессов. С помощью компьютеров геологи стали обрабатывать огромное количество данных и получать благодаря этому новые результаты.

Подводя определенный итог рассматриваемой теме, можно сформулировать следующее общее положение: существует тесная двусторонняя связь между математикой и естественными науками, которая и определяет место математики в естествознании. Возрастающая математизация естественных наук объясняется, с одной стороны, прогрессом этих наук, накоплением все большего числа установленных фактов и количественных закономерностей, а с другой – развитием самой математики, ее методов и формального аппарата, что позволяет отражать все более широкий круг объективных связей действительного мира. Это обстоятельство подчеркивали многие выдающиеся ученые. Характерными является следующие слова, принадлежащие знаменитому русскому математику и механику П. Л. Чебышёву: «В старину задавали математические задачи боги... Далее наступил второй период, когда задачи задавали полубоги: Ньютон, Эйлер, Лагранж. Теперь третий период, когда задачи задает практика...». А крупнейший математик XX века Л. С. Понтрягин отмечает, что «...приложения математики не только оправдывают ее существование, но и дают новые интересные задачи, которые невозможно получить из глубины разума».

Заметим, что математику не следует рассматривать как науку, лишь «обслуживающую» другие науки и практику. Созданное в течение двух с половиной тысячелетий грандиозное и величественное здание математики живет и развивается по своим внутренним законам. В этом смысле математика самодостаточна. Приведем в заключение слова выдающегося французского математика Шарля Эрмита, отражающие его понимание роли математики в познании реальности: «Я воспринимаю математиков как натуралистов, которые очами разума созерцают такой же реальный мир, как и мир природы, внешние по отношению к себе сущности, которые они не создавали, и существование которых так же необходимо, как существование вещей, животных и растений. Поэтому изучение субъективного мира открывает возможность интуиции, некоего взгляда на реальный мир».

Тема 34. Проблема познания мира. Можно ли познать бесконечное?

Основные вопросы:

34.1. Проблема познания мира в ракурсе эпох.

Особый статус бесконечности.

34.2. Концепции бесконечности в теологических учениях.

34.3. Бесконечность в математике.

34.4. Эволюция представлений о бесконечности пространства и времени.

34.1. Проблема познания мира в ракурсе эпох. Особый статус бесконечности

Термин «гносеология» (буквально: «учение о познании») был введен в науку только в середине XIX в., однако гносеологическая проблематика с давних пор занимала в философии важное место. Вопросы: *Как человек познает окружающий мир? Насколько адекватным является наше знание? Что такое истина? Существуют ли границы познания? Что такое научное знание и чем оно отличается от обыденного знания? Какими путями человек познает окружающий мир?* – вот далеко не полный перечень гносеологических проблем.

Уже со времен Античности пути и проблемы познания разрабатывались в философии Сократа, Платона, Аристотеля и других философов. Одно из направлений античной философии, сосредоточившее свое внимание на гносеологических вопросах, – *скептицизм* – пришло к выводу о том, что достижение истинного знания довольно проблематично. Скептики считали, что наше знание – это всего лишь мнения отдельных людей, а всякое мнение относительно, субъективно и, следовательно, не может претендовать на статус всеобщего знания.

В Средние века гносеологические вопросы ставились и рассматривались в рамках теологических учений. Согласно этим учениям, Бог и Божественная тайна считались недостижимыми рациональным путем – как, впрочем, и другими способами познания. Философская мысль Средневековья обсуждала такие гносеологические проблемы, как вопросы соотношения разума и веры, проблемы реальности общих понятий («спор об универсалиях»), проблемы «двух истин» (см. тему 3, вопрос 3). Но в целом в эпоху Средневековья гносеологическая проблематика не получила существенного развития.

Новые тенденции в развитии гносеологии связаны с философией Нового времени. С XVII века, наряду с естественнонаучными проблемами, начинают интенсивно разрабатываться проблемы познания. Именно в это время ставятся задачи детального изучения природы и человека. В философии эти задачи конкретизируются в различные «учения о субстанции», а также в поиски путей познавательной деятельности и разработки методов познания. Философия рационализма абсолютизирует разум, считая его возможности потенциально неограниченными. Дальнейшее развитие гносеология получает в трудах основоположника немецкой классической философии И. Канта. Изложение своей философии он начинает с вопроса: «Что я могу знать об этом мире?». Одна из главных книг И. Канта – «Критика чистого разума» – посвящена проблемам познания и является фактически его ответом на поставленный вопрос.

Стремительное развитие философии Нового времени поставило перед ней проблему, обозначенную Кантом: способен ли человек, обладающий конечным (всегда ограниченным) опытом, не только адекватно отражать отдельные стороны и фрагменты мира, но и проникнуть в его сущность? Одна из центральных проблем философии XX–XXI вв., получившая наиболее отчетливое выражение в дискуссиях по поводу конечности-бесконечности мира и возможностях его познания, может быть сформулирована как проблема правомерности универсальных обобщений о бесконечном мире на основе исследования его конечной части. Эта проблема, имеющая принципиальное значение не только для философии, но и для всех естественных наук, тесно связана с общей концепцией бесконечности.

Проблема бесконечности является одной из самых глубоких, важных и сложных проблем науки. Она относится к тому ряду «вечных» вопросов, к которым всегда проявлялся повышенный интерес со стороны ученых, поэтов, мыслителей, и постоянно была окутана покровом таинственности, загадочности и мистики. Особый статус бесконечности заключается в противоречии между конечностью человеческой жизни и потенциальной бесконечностью мира, в котором живет человек. Блез Паскаль в своем философском произведении «Мысли», опубликованном в 1669 г., 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.

Освальд Шпенглер в своей книге «Закат Европы», вышедшей в свет в 1918 г. и произведшей тогда сенсацию в умах читающей публики, в качестве основы человеческого восприятия действительности рассматривает *прасимвол* – способ представления «ландшафта культуры» в его пространственной протяженности. Например, прасимвол египетской культуры – дорога; прасимвол античной культуры – ограниченное материальное тело; прасимвол арабской культуры – мир-пещера. Для европейской (западной) культуры ее прасимволом, согласно Шпенглеру, выступает бесконечность. Отсюда проистекает обуревающая европейцев жажда путешествий, поиска новых земель, новых впечатлений. Территориальные завоевания, крестовые походы, кругосветные плавания – все это свидетельства безудержной тяги к все большему расширению пространства. Эта же тяга побуждает европейцев проникать в новые миры, изобретая телескоп и микроскоп. Стремление выйти за пределы настоящего – к прошлому или к будущему – присуще западному человеку в такой же степени, как и жажда нового пространства. Оно заставляет его заниматься археологией и сочинять утопические проекты будущих обществ. Идея бесконечности является основополагающей для европейской науки: такова декартова физика с ее безгранич-

ным эфиром, ньютоновская механика с картиной пустого мирового пространства, в котором движется бесконечное число атомов. Такова европейская математика бесконечно малых величин, бесконечных рядов, бесконечных множеств. Идеей бесконечности пронизаны философские системы Спинозы, Гоббса, Канта, Гегеля.

В сознании западного человека проблема пространства неразрывно связана с проблемой времени. Физическая картина мира, создаваемая в западной культуре, со времен Ньютона изображает «стрелу времени» в виде бесконечной прямой линии, которая присоединяется как особая координатная ось к трем пространственным осям. Бесконечность времени представляется как возможность бесконечного движения вдоль изображающей его числовой оси. Душа европейской культуры, согласно Шпенглеру, всегда не удовлетворена пребыванием в границах достигнутого и потому нацелена на бесконечное движение к неизведанному (Шпенглер называет ее *фаустовской душой*).

Перейдем теперь от этих философских представлений о бесконечности к способам осознания феномена бесконечности в рамках естественных наук. Понятие бесконечности является весьма многогранным. Можно выделить четыре типа бесконечности:

- *количественную (по числу элементов);*
- *пространственную (по протяженности);*
- *временную (по длительности);*
- *структурную (по сложности).*

В современной науке бесконечность является предметом анализа трех дисциплин: философии, математики и космологии. Ведущей среди них является математика. Именно успехи математики в изучении бесконечности повысили философский статус бесконечности, отняв при этом у теологии возможность спекуляций на непостижимости бесконечности.

Первые попытки научного осмысления бесконечности – как и зачатки научного знания – появились в Древней Греции. Мысли о бесконечности мира высказывались уже представителями милетской школы (VI–V вв. до н.э.). Ученик Фалеса Анаксимандр развил представление о том, что мир – это бесконечная неопределенная материя (апейрон), которая находится в беспрестанном изменении и постоянно меняет формы своего бытия. Эта материя бессмертна и неразрушима, и из нее образуется бесконечное число миров, каждый из которых неизбежно погибает в вечном круговороте материи. Другой представитель милетской школы – Анаксагор – распространил идею бесконечности не только на космос, но и на структуру вещества. Выражаясь современным языком, Анаксагор предположил потенциальную неисчерпаемость материи. Эта мысль предопределила развитие идей о возможности (или невозможности) бесконечного деления вещества. Пред-

ставители милетской школы и, вслед за ними, Аристотель считали материю бесконечно делимой.

В противовес Аристотелю, в атомистической концепции, развитой Левкиппом, Демокритом, Эпикуром и Лукрецием, постулировалось наличие предела делимости материи. Идея вечности и нерушимости атомов выражала в частной форме принцип сохранения материи, что обеспечило в будущем устойчивость концепции атомизма.

В учениях Анаксимандра, Анаксагора, Демокрита и Лукреция по существу было сформулировано представление об *актуальной* бесконечности, которое противопоставлялось концепции *потенциальной* бесконечности, развитой Аристотелем.

Потенциальная, или становящаяся, бесконечность может быть охарактеризована как бесконечность (незавершаемость) некоторого процесса. Скажем, потенциальная бесконечность процесса деления отрезка пополам состоит в том, что сколько бы раз мы ни делили отрезок на две равные части, оставшийся отрезок снова может быть поделен пополам. Потенциальная бесконечность ряда натуральных чисел означает, что, сколько бы чисел мы ни взяли, найдется еще одно натуральное число – процесс выбора натуральных чисел никогда не может быть завершен. Потенциальная бесконечность соответствует человеческому опыту и не противоречит интуиции: сколько бы шагов ни сделал человек, он может сделать еще один шаг; как бы ни была велика куча камней, к ней можно добавить еще один камень; как бы далеко ни улетела стрела, ее можно пустить еще дальше. В отличие от потенциальной, актуальная бесконечность есть бесконечность завершенная, то есть данная как наличное бытие. Например, с этой точки зрения натуральный ряд чисел возникает не в процессе прибавления единицы к предыдущему числу, а берется *сразу во всей совокупности*, так сказать, «в готовом виде».

Появление актуальной бесконечности ведет к парадоксам. В качестве примеров можно назвать парадоксы Зенона (об Ахиллесе и черепахе, о невозможности движения и др.), которые основаны на представлении некоторого процесса в виде выполнения бесконечного числа шагов.

Из-за наличия парадоксов греческие философы старались избегать бесконечности, особенно наиболее «зловредной» ее формы – актуальной бесконечности. Аристотель наложил на актуальную бесконечность табу. Известен его знаменитый афоризм: *infinitum actu non datur* (актуальная бесконечность не дана). Запрет продержался почти до конца XIX века (дольше, чем аристотелевская геоцентрическая система мира!) – до того времени, когда немецкий математик Георг Кантор (1845–1918) создал теорию бесконечных множеств.

34.2. Концепции бесконечности в теологических учениях

Концепции бесконечности мира занимали важное место во всех теологических учениях. В них идея творения распространялась не только на материю, но также на пространство, время и движение.

Характерными в этом отношении являются взгляды крупнейшего христианского теолога Августина Блаженного (354–430), которые явились основополагающими для теоретической христианской теологии и проповедуются до настоящего времени в рамках современного неотолизма [22]. Принимая все основные догматы о бесконечности Бога и конечности мира в пространстве и во времени, 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 средневековой схоластике тема Бога являлась доминирующей. Христианский Бог бесконечен и вечен, ему присущи бесконечная мудрость и бесконечное могущество. В соответствии с взглядами Фомы Аквинского философы Средневековья развивали учение об актуальной бесконечности Бога (как бесконечного множества всех совершенств) при потенциальной бесконечности природы.

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 (1401–1464). В своей теории «ученого незнания» он утверждает богоподобность конечного разума и его способность познать абсолютное не только через явления, но через саму его непознаваемость, которая каждый раз дана уму особым образом. На этом принципе строится изощренная диалектика относительного и абсолютного, «максимума» и «минимума». Предвосхищая Бэкона и Декарта, Кузанский выдвигает программу тотальной реформы наук и религий. Одна из важнейших философских идей Николая Кузанского заключается в том, что бесконечность Бога находит выражение в бесконечности природы. Впоследствии эту идею развил Джордано Бруно. Он приписал природе атрибуты вечности и бесконечности, до того связывавшиеся только с Богом, и выдвинул утверждение о бесчисленности обитаемых миров.

Развитие естествознания в эпоху Возрождения постепенно приводило к пересмотру религиозно-идеалистических представлений о мире. Первым ударом по ним явилась гелиоцентрическая система Коперника (1543). Следует сказать, что Коперник был далек от четкого понимания бесконечности мира. Об этом свидетельствует, например, то, что он «располагает» все звезды на одной сфере, центр которой превращается в центр Вселенной, и в эту точку помещается Солнце.

Но вскоре ярый сторонник учения Коперника Джордано Бруно провозгласил, что у Вселенной нет центра и что в мире существует бесчисленное множество звезд, подобных Солнцу. В своей философии Бруно основывался на тождестве Бога и природы (пантеизм). В то же время в рамках пантеизма бесконечное подчас отождествлялось с абсолютным, а высшим абсолютом считался Бог. Уже в середине XVII века великий Декарт писал: «И как невозможно представить столько звезд, чтобы Бог не мог создать их еще больше, то их число мы предположим неопределенным. То же относится и ко всему остальному; название же "бесконечный" нужно сохранить для одного Бога». Таким образом, для Декарта «настоящая бесконечность» – это атрибут Бога. А то, что не укладывается в конечные мерки, – то неопределенно.

34.3. Бесконечность в математике

Начиная с Евклида, и кончая великими предшественниками Кантора (среди которых, в первую очередь, следует назвать Лейбница, Гаусса и Коши), считалось, что в математике допустима только потенциальная бесконечность. Так, в 1831 году К. Гаусс писал: «Я возражаю против употребления бесконечной величины как чего-либо заверщенного, что никогда не позволительно в математике».

Общее учение о бесконечных множествах было создано в последней четверти XIX века немецким математиком Георгом Кантором. Тем самым в математику было введено понятие *актуальной бесконечности*.

- Георг Кантор родился в 1845 г. в Санкт-Петербурге. В 1856 г. семья переехала в Германию, где Георг учился в школах Висбадена и Дармштадта. С раннего детства он проявил необыкновенные способности к математике, а также изучал и любил философию и богословие; религия оказывала на него сильнейшее воздействие на протяжении всей его жизни. В 1862 г. Кантор поступил в Цюрихский политехнический институт и вскоре убедил отца, который хотел, чтобы его сын стал инженером, что его профессией будет математика. Георг учился в Берлинском и Гёттингенском университетах и после защиты дипломной работы занял должность преподавателя университета в Галле. Когда Г. Кантор начал публикацию своих исследований по общей теории множеств, некоторые математики (особенно Л. Кронекер), а также философы, логики, теологи выступили с критикой его идей. Например, теологи утверждали, что понятие актуальной бесконечности несовместимо с догматом религии о сотворении мира Богом.

В чем же заслуга Кантора в понимании бесконечности? Кантор сделал принципиальный шаг: бесконечность – это не просто отрицание конечности. Кантор первым понял, что бесконечности бывают разные, и предложил четкий логический прием сравнения бесконечностей. Тем самым в ранее аморфное понятие бесконечности была внесена определенная структура и из мистической и неопределенной субстанции бесконечность превратилась в объект логико-математического анализа.

Основная идея Кантора, положенная им в сравнение бесконечных множеств, состоит в установлении между ними взаимно-однозначного соответствия. Множества, между которыми существует взаимно-однозначное соответствие, называются *равномощными* и рассматриваются как одинаковые по числу элементов. Основой идущей от Кантора «иерархии бесконечностей» является хорошо известная *теорема Кантора – Бернштейна*, утверждающая, что если для двух множеств A и B существует взаимно-однозначное соответствие между A и частью B , а также взаимно-однозначное соответствие между B и частью A , то множества A и B равномощны. Отсюда следует, что любые два множества либо равномощны, либо одно из них меньше другого по мощности.

Кантор отчетливо осознавал важность этой теоремы, но ее доказательство ему не давалось. Он сообщил о своих затруднениях Дедекинду, который ознакомил с ее содержанием своих студентов. В первой половине 90-х годов XIX века эта теорема была доказана учеником Дедекинда студентом Гёттингенского университета Ф. Бернштейном.

Множество, которое равномощно множеству N натуральных чисел, называется *счетным*. Нетрудно показать, что счетное множество является самым маленьким из бесконечных. Поэтому любое бесконечное подмножество множества натуральных чисел (например, множество квадратов

или множество всех простых чисел) также счётно. Счетным является также множество всех рациональных чисел \mathcal{Q} .

Как видно из приведенных примеров, предложенный Кантором метод сравнения бесконечных множеств приводит к парадоксам: бесконечное множество по числу элементов может быть равным своей части. Это противоречит логическому принципу, согласно которому *целое больше своей части*.

Важнейшим открытием Кантора явилось доказательство того, что существуют несчетные множества. Таковым является, например, множество \mathbf{R} всех действительных чисел (т.е. множество точек на прямой). Множество, равномощное \mathbf{R} , называется *континуальным*. В 1877 г. Кантор установил еще один принципиальный результат теории бесконечных множеств: точек на прямой столько же, сколько и на плоскости; математически это означает, что множество \mathbf{R}^2 имеет мощность континуума. Такую же мощность имеет множество \mathbf{R}^n при любом натуральном числе n . (Последнее открытие повергло самого Кантора в изумление. В письме Дедекинду, в котором Кантор сообщает ему об этом результате, он пишет: «Я вижу это, но не верю этому».)

Существует ли множество, имеющее промежуточную мощность между счетной и континуальной? Эта проблема получила название *проблемы континуума*.

Сам Кантор считал, что такого множества не существует (*континуум-гипотеза*), но доказать этого он не смог.

На рубеже XIX–XX вв. знаменитый немецкий математик Давид Гильберт в докладе на II Международном конгрессе математиков в Париже сформулировал 23 проблемы, которые он считал важнейшими для математики. Первой среди них названа проблема континуума.

- Долгие годы над проблемой континуума размышляли известные математики, но проблема не поддавалась решению. В 1938 г. выдающийся австрийский логик Курт Гёдель установил, что континуум-гипотеза совместима с другими аксиомами теории множеств (то есть ее присоединение к системе аксиом теории множеств не превращает последнюю в противоречивую теорию). А в 1963 г. молодой американский математик Пол Джозеф Коэн доказал, что отрицание континуум-гипотезы также совместимо с остальными аксиомами теории множеств. Отсюда следует, что континуум-гипотеза не зависит от остальных аксиом, поэтому ни она, ни ее отрицание не могут быть доказаны в рамках существующей аксиоматики теории множеств. Последнее означает, что логически возможны две теории множеств (а значит, и две математики): канторовская, где принята гипотеза континуума, и неканторовская, где принято ее отрицание. Ситуация здесь аналогична той, которая имеет место с пятым постулатом в геометрии: присоединение пятого постулата к остальным аксиомам геометрии приводит к геометрии Евклида, а присоединение отрицания пятого постулата – к геометрии Лобачевского.

Создание Г. Кантором теории множеств повлекло за собой изменение стиля мышления в физико-математических науках, что привело к перестройке всей математики. Известный логик А. А. Френкель оценивает роль теории множеств следующими словами [23]: «Завоевание актуальной бесконечности методами теории множеств можно рассматривать как расширение нашего научного горизонта, не меньшее по значению, чем коперниковская система в астрономии и теория относительности или даже квантовая теория в физике».

Все реально существующие множества, допустимые для человеческого восприятия (множества вещей, явлений, событий), являются конечными. Человеческая практика также всегда ограничена количественными, пространственными и временными рамками. Однако любой объект реального мира бесконечно сложен, бесконечно богат проявлениями, свойствами, связями с другими объектами. Поэтому возникает принципиальный вопрос о диалектике конечного и бесконечного – в гносеологическом плане он может быть сформулирован как проблема *сводимости бесконечного к конечному*.

Обратимся снова к математике. Концепция бесконечности имманентно (внутренне) присуща математике, так как основные математические понятия – множество натуральных чисел и множество точек пространства – являют собой примеры бесконечных множеств. Один из крупнейших математиков первой половины XX в. Герман Вейль характеризовал математику следующим образом [24]: «Математика – это наука о бесконечности, ее цель – символическое постижение бесконечности человеческими, то есть конечными средствами».

Любая математическая теория может быть представлена как некоторое множество утверждений (теорем), справедливых для изучаемой в этой теории предметной области. Ввиду того, что множество таких утверждений потенциально бесконечно, ставится задача его описания. Впервые принципиальный подход к описанию множества теорем математической теории был предложен Д. Гильбертом и получил название *программы финитизации математики*.

- Схематично программа Гильберта состоит в следующем. Всякая предметная область, изучаемая в рамках некоторой математической теории, может быть задана определенным набором аксиом, отражающих основные свойства объектов данной предметной области и связи между ними. Поскольку доказательство любого нового утверждения (теоремы) проводится в рамках логики, то необходимо к этим аксиомам добавить логические аксиомы, а также правила вывода, то есть правила, по которым из аксиом получаются теоремы. При этом правила вывода подбираются так, что теоремы будут истинными утверждениями в любой предметной области, для которой истинны аксиомы. Процедура получения некоторой теоремы из аксиом называется ее доказательством. При этом доказательство должно осуществляться в конечное число шагов, каждый из которых может

быть эффективно проверен. Таким образом, гильбертовский формализм позволяет «автоматически» получать теоремы из аксиом, а также может быть использован для проверки правильности тех теорем, доказательства которых получены не формальным путем, а с помощью словесных рассуждений. Основной вопрос состоит в том, могут ли на таком пути быть получены все истинные результаты математики? Положительный ответ на этот вопрос означал бы принципиальную возможность реализации программы Гильберта «финитизации математики». Так как математика состоит из отдельных теорий, то аналогичный вопрос может быть поставлен для любой конкретной математической теории. Теория, все истинные утверждения которой могут быть получены в результате процедуры формального доказательства, называется аксиоматизируемой.

Полученные в начале XX века результаты, связанные с гильбертовской программой финитизации математики, казались обнадеживающими. В 1921 г. американским математиком Эмилем Постом была доказана аксиоматизируемость логики высказываний – простейшей логической системы. В 1930 г. австрийский логик Курт Гёдель доказал аксиоматизируемость более сложной логической системы – логики предикатов. Из этого результата вытекает аксиоматизируемость любой теории 1-го порядка, то есть теории, аксиомы которой записаны на языке первой ступени. Но в 1931 г. Гёдель установил следующий принципиальный результат: *если непротиворечивая теория T содержит арифметику, то в ней найдется такое утверждение A , что ни само A , ни его отрицание недоказуемы в теории T .*

Поскольку либо утверждение A , либо его отрицание является истинным, то отсюда следует, что некоторые истинные утверждения теории T являются недоказуемыми. А так как большая часть математики построена на арифметике, то в силу теоремы Геделя большая часть математики оказывается неаксиоматизируемой. Сформулированный тезис имеет принципиальный характер в гносеологическом отношении: такая важная область интеллектуальной деятельности, как математика, не может быть целиком сведена к некоторой «игре с символами, проводимой по формальным правилам», то есть в принципе не может быть заменена никакой механической процедурой. В рамках обсуждаемой нами проблемы этот вывод означает, что, пытаясь свести бесконечное к конечному, мы можем рассчитывать лишь на частичный успех.

34.4. Эволюция представлений о бесконечности пространства и времени

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 не-

бесных тел. Это был период триумфа науки. Напомним, в частности, следующий знаменательный факт. На основе законов Ньютона его сподвижник Эдмонд Галлей предсказал время и место появления кометы, получившей впоследствии его имя, за 18 лет до этого события. В день появления кометы по всей Европе шли праздничные гулянья и слагались оды в честь науки.

Важными шагами на пути познания Вселенной стало открытие других галактик и установление с помощью спектрального анализа химического состава звезд, 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.

Естественнаучные подходы к осмыслению проблем пространства и времени стали возможными после создания Эйнштейном общей теории относительности 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 [2, 25]. 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 века разительные 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 явилась математической основой общей теории относительности, которая служит базовой теорией современной релятивистской космологии. Вопрос о геометрии физического пространства сводится к определению знака его кривизны, что, в свою очередь, зависит от соотношения средней и критической плотности материи (см. тему 16, вопрос 1).

Проблема бесконечности 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.

В заключение темы отметим одно существенное различие статуса бесконечности в математике и в космологии. В рамках аксиоматической теории множеств невозможно вывести существование бесконечного множества в качестве логического следствия из остальных аксиом. Как пишет в работе [23] один из авторов наиболее распространенной в математике аксиоматической теории множеств (системы аксиом Цермело – Френкеля) «есть только одна возможность получения бесконечных множеств – постулировать их существование». В то же время, решение вопроса о бесконечности Вселенной сводится (в предположении адекватности существующей геометрической модели физического пространства) к вопросу о соотношении критической и средней плотности материи, который решается эмпирически.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ШЕСТОМУ РАЗДЕЛУ

1. Кармин А. С. Культурология. СПб. : Лань; Изд-во «Планета музыки», 2009.
2. Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И. Уставы небес. М. : Айрис Пресс, 2004.
3. Налимов В. В., Мульченко З. М. Наукометрия. М. : Наука, 1969.
4. Кун Т. Структура научных революций. М. : Прогресс, 1977.
5. Мейлах Б. С. На рубеже науки и искусства : спор о двух сферах познания и творчества. Л. : Наука, 1971.
6. Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М.: Радио и связь, 1981.
7. Дельгадо Х. Мозг и сознание. М. : Мир, 1971.
8. Налчаджян А. А. Некоторые психологические и философские проблемы интуитивного познания. М. : Мысль, 1972.
9. Квейд Э. Анализ сложных систем. М. : Сов. радио, 1969.
10. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М. : Наука, 1981.
11. Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. М. : Радио и связь, 1982.
12. Розен В. В. Цель – оптимальность – решение. М. : Радио и связь, 1982.
13. Винер Н. Кибернетика. М. : Сов. радио, 1968.
14. Кемп П., Армс К. Введение в биологию. М. : Мир, 1988.
15. Медавар П., Медавар Д. Наука о живом. М. : Мир, 1983.
16. Пресман А. С. Идеи В. И. Вернадского в современной биологии. М. : Знание, 1976.
17. Клайн М. Математика. Утрата определенности / пер. с англ. ; под ред. И. М. Яглома. М. : Мир, 1984.
18. Колмогоров А. Н. Математика в ее историческом развитии. М. : Наука, 1991.
19. Волошинов А. В. Математика и искусство. М. : Просвещение, 2000.
20. Яглом И. М. Математические структуры и математическое моделирование. М. : Сов. радио, 1980.
21. Математика в современном мире / пер. с англ. М. : Мир, 1967.
22. Мелюхин С. Т. Бесконечность материального мира. М. : Знание, 1973.
23. Френкель А. А., Бар-Хилел И. Основания теории множеств. М. : Мир, 1966.
24. Грэхэм Л., Кантор Ж.-М. Имена бесконечности : правдивая история о религиозном мистицизме и математическом творчестве. СПб. : Изд-во Европейского университета в Санкт-Петербурге, 2011.
25. Бесконечность и Вселенная / под ред. В. В. Казютинского и др. М. : Мысль, 1969.

Учебное издание

Розен Виктор Владимирович

СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕЙ
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
КОМПЕНДИУМ

*Допущено Учебно-методическим объединением
по направлениям педагогического образования
Министерства образования и науки РФ в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 050200
«Физико-математическое образование»*

Технический редактор *Л. В. Агальцова*
Оригинал-макет подготовлен *О. Л. Багаевой*

Подписано в печать 12.12.2011. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 23,48(25,25). Тираж 100. Заказ 294-Т.

Издательство Саратовского университета.
410012, Саратов, Астраханская, 83.
Типография Саратовского университета.
410012, Саратов, Б. Казачья, 121 А.

