

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»

В. Ф. Тулинов, К. В. Тулинов

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебник

3-е издание,
переработанное и дополненное

*Рекомендовано
Учебно-методическим центром
«Профессиональный учебник»
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений*

Москва
2010

НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:

1. Дипломы, курсовые, рефераты...
2. Диссертации и научные работы.

Тематика любая:

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ, экономика,
техника, право, менеджмент,
финансы, биология...

Уникализация текстов, переводы с
языков,
презентации...

УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ,
ДИССЕРТАЦИИ:

полные тексты в электронной
библиотеке

www.учебники.информ2000.рф.

ирантских работ
at-diplom.shtml

твенного образования
реподавателей
ий

нских наук, профессор;
к наук, профессор.

Т82

Концепции современного естествознания: Учебник / В. Ф. Тулинов, К. В. Тулинов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. — 484 с.

ISBN 978-5-394-00578-7

Учебник подготовлен в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по дисциплине «Концепции современного естествознания».

Представлена широкая панорама естественно-научных концепций в их историческом развитии, имеющих важное мировоззренческое и методическое значение.

Освещены различные процессы и явления в живой и неживой природе, принципы эволюции, воспроизводства и развития живых систем.

Для студентов и преподавателей высших учебных заведений, а также всех интересующихся проблемами современного естествознания.

УДК 001
ББК 72

ISBN 978-5-394-00578-7

© Тулинов В. Ф., Тулинов К. В., 2009

© ООО «ИТК «Дашков и К°», 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
Глава 1. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ И ГУМАНИТАРНАЯ КУЛЬТУРЫ. НАУЧНЫЙ МЕТОД	14
1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры	14
1.2. Научный метод	18
1.2.1. Уровни научного познания	20
1.2.2. Методология научного исследования	24
Глава 2. ИСТОРИЯ, ПАНОРАМА И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ	29
2.1. История развития естествознания	29
2.1.1. Краткая история физики	29
2.1.2. Античный и средневековый период	30
2.1.3. Классическая физика	38
2.1.4. Физика XX в.	54
2.1.5. Краткая история химии	61
2.1.6. Краткая история биологии	78
2.2. Панорама современного естествознания	99
2.2.1. Физика	99
2.2.2. Химия	104
2.2.3. Биология	110
2.3. Тенденции развития естествознания	115
2.3.1. Физика	115
2.3.2. Химия	120
2.3.3. Биология	123
2.3.4. Единство естественных наук	124
Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ	128
3.1. Корпускулярная и континуальная концепции описания природы	128
3.2. Порядок и беспорядок в природе, хаос	132

3.3. Структурные уровни организации материи: микро-, макро- и мегамиры.	135
3.3.1. Микромир	136
3.3.2. Ядерная физика	145
3.3.3. Элементарные частицы	153
3.3.4. Макромир	158
3.3.5. Мегамиры	172
3.4. Пространство и время	206
3.4.1. Общие понятия о пространстве и времени.	206
3.4.2. Греческая натурфилософия	208
3.4.3. Пространство и время в классической физике	209
3.4.4. Пространство, время в специальной теории относительности	210
3.4.5. Пространство, время в общей теории относительности	211
3.4.6. Пространство и время в физике микромира	212
3.5. Принципы относительности	214
3.5.1. Принцип относительности в классической механике	214
3.5.2. Принцип относительности в специальной теории относительности	216
3.5.3. Принципы относительности в общей теории относительности.	220
3.6. Принципы симметрии и законы сохранения	221
3.7. Взаимодействие, близкоедействие, дальноедействие	237
3.8. Состояние, принципы суперпозиции, неопределенности, дополнительные.	240
3.8.1. Состояние	240
3.8.2. Принцип неопределенности	245
3.8.3. Принцип дополнительности	246
3.8.4. Принцип суперпозиции	247
3.9. Динамические и статистические закономерности в природе	248
3.10. Законы сохранения энергии в макроскопических процессах.	250
3.11. Закон возрастания энтропии.	260
Глава 4. ХИМИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ	270

4.1. Химические системы, энергетика химических процессов, реакционная способность веществ	270
4.1.1. Энергетика химических процессов	271
4.1.2. Реакционная способность веществ	273
4.2. Химическое равновесие	276
Глава 5. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ	282
5.1. Внутреннее строение и история геологического строения Земли	282
5.2. Современные концепции развития геосферных оболочек	290
5.3. Литосфера как биотическая основа жизни	296
5.4. Экологические функции литосферы	298
5.5. Ресурсная, геодинамическая, геофизико-геохимическая, географическая оболочки	302
Глава 6. БИОЛОГИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ	309
6.1. Особенности биологического уровня организации материи	309
6.1.1. Свойства живых систем	312
6.1.2. Структура и функции биосферы	319
6.1.3. Живые организмы (живое вещество)	321
6.1.4. Биотический круговорот	322
6.2. Принципы эволюции, воспроизводства и развития живых систем	324
6.2.1. Генетические теории	324
6.2.2. Условия, необходимые для возникновения жизни ..	328
6.2.3. Организм и среда	337
6.2.4. Эволюция растительного мира	341
6.2.5. Эволюция животного мира	343
6.2.6. Эволюция биосферы	346
6.3. Многообразие живых организмов — основа организации и устойчивости биосферы	347
6.4. Генетика и эволюция	358
6.4.1. Генетика	358
6.4.2. Генетический код	363
6.4.3. Мутации	365
6.4.4. Генная инженерия	366
6.4.5. Эволюция	368

Глава 7. ЧЕЛОВЕК: ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ФИЗИОЛОГИЯ, ЗДОРОВЬЕ, БИОЭТИКА	378
7.1. Физиология, здоровье, эмоции, творчество, работоспособность	378
7.2. Биоэтика	398
7.3. Биосфера и космос	408
7.4. Ноосфера	412
7.5. Экология и здоровье	422
Глава 8. ПРОБЛЕМЫ САМООРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ И УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ	445
8.1. Необратимость времени	445
8.2. Самоорганизация в живой и неживой природе	452
8.2.1. Пространственные диссипативные структуры	454
8.2.2. Временные диссипативные структуры	455
8.2.3. Химическая основа морфогенеза	457
8.2.4. Самоорганизация в живой природе	459
8.2.5. Самоорганизация в неравновесных системах	460
8.3. Принципы универсального эволюционизма	466
8.3.1. Микромир. Формирование элементного состава вещества материи	467
8.3.2. Микромир. Химическая эволюция на молекулярном уровне	469
8.3.3. Макромир. Эволюция живой материи	472
8.3.4. Самоорганизация и развитие неживой материи	473
8.3.5. Мегамиры. Идея развития Вселенной	474
8.4. Концепции эволюционного естествознания	475
ЛИТЕРАТУРА	479

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс предъявляет высокие требования к людям современной цивилизации, особенно к наиболее активной их части.

Однако освоение всего богатства накопленных естественно-научных знаний является очень сложной задачей, поскольку они необычайно расширились и углубились, особенно в последнее время. Человеческое общество вступило в век господства информатики, микроэлектроники и биотехнологии, атомной энергетики, которые в корне преобразовали промышленное и сельскохозяйственное производство.

Очевидно, что подготовка современного специалиста в любой области знания, в том числе и специалиста-гуманитария с широким базовым образованием, уже немыслима без ознакомления с историей и современным состоянием естествознания.

Этому способствует введение в вузах в учебные планы подготовки специалистов экономических и других гуманитарных специальностей курса “Концепции современного естествознания”. Успешное овладение материалом этого курса предполагает решение по крайней мере трех задач:

1. Просветительской, которая включает выработку у студентов представлений о современном естествознании как о системе фундаментальных знаний о целостной природе, что отличает науку от псевдонауки.

2. Методологической, которая охватывает методологическую базу естествознания (методы познания и критерии оценки истинности этих знаний), имеющую общекультурное значение.

3. Мироззренческой, которая существенно определяет содержание внутреннего духовного мира человека.

Почему особую важность приобретают в последнее время именно эти три направления в подготовке специалистов.

По первому вопросу. В последнее время в нашей стране в общественном сознании роль и значение естественно-научных знаний, как это ни кажется парадоксальным, непрерывно и заметно уменьшаются.

Это, с одной стороны, связано с существенным сокращением пропаганды естественно-научных знаний, а с другой стороны, появившейся возможностью широкой публикации литературы, развивающей интерес к мистицизму, паранауке, астрологии, магии, спиритизму, оккультизму и т. д. Постепенно, но достаточно определенно они вытесняют из общественного сознания естественно-научную картину мира, основанную на рациональных способах его объяснения.

Представители современной лженауки стараются использовать любые учения, вплоть до суеверий и мистики, лишь бы они оказали соответствующее воздействие на общество. Некоторые пытаются внедрить мысль, что статус научного миропонимания не выше любого мифа, и вступают за беспредельный плюрализм. Уход от науки к мифотворчеству и мистике стал модой отечественного околонаучного сознания.

В этих условиях приобретает значимость утверждение идеалов научно-рационального отношения к действительности, на которых построена наша цивилизация. Ведь неограниченный скептицизм является тормозом общественного, экономического и культурного развития.

Только люди, обладающие научным мировоззрением, могут противостоять “интеллектуальному анархизму”, цель которого состоит в том, чтобы уравнивать науку с магией, мифом, религией и т. п.

Подлинная наука, как и все рациональное знание, несовместима с той псевдонаучной бессмыслицей, которая сейчас непрерывно воздействует на сознание современного человека. Игнорирование научного миропонимания может повлечь за собой опасные последствия.

Поэтому в курсе “Концепции современного естествознания” помимо исторической панорамы развития естественных наук сформулированы важнейшие концептуальные проблемы раз-

личных основных наук: в физике это — проблема микро- (физика элементарных частиц) и мегамира (космология и космогония); в химии — химия высокомолекулярных соединений; в биологии — вопросы генетики, проблемы возникновения и эволюции жизни. Все это в конечном счете позволит получить развернутую современную естественно-научную картину мира.

По второму вопросу. Другой, не менее важной стороной изучения курса “Концепции современного естествознания” является то, что естествознание выработало в процессе своей длительной эволюции такие способы, методы и приемы познания, т. е. такую методологическую базу для получения новых знаний и критериев оценки истинности этих знаний, которая не только может служить и служит эталоном для всякой науки, но и приобретает общекультурное значение.

Ознакомление с методологией естественно-научного познания, принципами теоретического моделирования объекта в естествознании позволяет перенести методологический опыт естествознания также и в гуманитарные науки. Ныне рациональная естественно-научная методология познания активно проникает в социальную и гуманитарную сферу и даже оказывает заметное воздействие на психологию, философию, искусство.

В качестве примера использования некоторых перспективных методологических приемов, которые уже сейчас позволили существенно продвинуть исследования по целому ряду важнейших направлений в общественных науках, можно отметить такие разработанные в недрах естествознания и составляющие основу его современной методологии, как синергетический взгляд на саморазвитие любых сложных систем, в том числе социальных, а также универсальный эволюционизм.

Другим примером является системный подход, который ориентирует исследования на целостный охват изучаемых процессов и явлений в их взаимосвязи с другими явлениями и тем самым предохраняет от однородности, неполноты и ограниченности получаемые результаты. Эволюционно-синергетический подход позволяет исследовать и объяснить процессы саморазвития многих сложных систем путем раскрытия некоторых

внутренних механизмов их эволюции. Ныне самоорганизация рассматривается как свойство, присущее достаточно сложным объектам любой природы, изучаемое синергетикой — наукой, ставшей предметом особого внимания в конце XX в. Оказалось, что самоорганизация и эволюция механических (неживых), живых и социальных систем основаны на общих принципах и законах. Установлено, что теории самоорганизации неравновесных систем, теории бифуркации и катастроф настолько общи, что наряду с процессами в неживых системах позволяют анализировать и прогнозировать также процессы эволюции экономических, социальных и других систем.

Такая методология позволяет наилучшим образом донести сущность эволюции Вселенной, непрерывность ее развития от неживого к живому и социальному.

По третьему вопросу. Не менее важный аспект необходимости изучения естествознания гуманитариями — это аспект мировоззренческий. Научная картина мира всегда была важнейшей составной частью мировоззрения человека. Научное понимание природы существенно определяет и содержание его внутреннего, духовного мира.

Сейчас человек все больше осознает свою тесную связь с природой, то, что он является ее частью. Развитие цивилизации в XX в. с очевидностью показало, что природа и человеческое общество представляют собой единый природно-общественный динамический организм, в котором обе его части глубоко взаимосвязаны и непосредственно влияют друг на друга. Действительно, успехи естествознания привели к революционным изменениям в информационной сфере, к созданию всемирных коммуникационных систем, что сейчас является мощнейшим средством воздействия на сознание человека.

В последние годы мы являемся свидетелями огромного влияния СМИ на формирование общественного мнения. В то же время успехи генной инженерии позволяют влиять на наследственность и, в принципе, внедряться в самую природу человека как биологического объекта. А последствия такого вмешательства сейчас даже невозможно себе представить.

Ясно только, что такие перспективы изменения природы человека безграничны. В частности, развитие таких направлений вновь порождает евгенику как науку и социальное движение, ставящее своей целью улучшение человеческой природы. Расширение возможности вмешательства в частную жизнь человека через развитие медицинских технологий ставит множество социально-правовых вопросов, касающихся права человека на распоряжение своим телом, права на тайну, на информацию о состоянии собственного здоровья и т. д., то есть тех вопросов, которые составляют содержание биоэтики.

Имеется и обратное, все возрастающее влияние и воздействие хозяйственной деятельности человека (антропогенное воздействие) на природу. Во второй половине XX в. возникла новая социальная проблема нерегулируемого взаимодействия между человеком и природой вследствие антропогенного воздействия на биосферу, появились экологические и, как следствие, демографические проблемы, так как ухудшение окружающей природной среды заметно влияет на здоровье и наследственность.

Окружающая среда представляет собой весьма сложную природную структуру, эволюционирующую по своим законам. Испытывая антропогенное воздействие, она в свою очередь диктует условия выживания человека и цивилизации в целом, ограничивая темпы экономического развития и использования природных ресурсов.

В то же время надо ясно осознавать, что экологический кризис, поставивший человечество на грань катастрофы, вызван не научно-техническим прогрессом, а напротив — недостаточным распространением в обществе научных и культурных знаний, породившим благодатную почву для принятия безответственных решений по эксплуатации природных ресурсов в ущерб окружающей среде. Необходимо еще раз подчеркнуть, что исключительно высокому уровню естественно-научных знаний и, как следствие, высокому современному уровню техники и технологий должны соответствовать новая, более высокая ступень развития человеческого общества в целом и его взаимодействие с природой. Возникает задача целостного, гармонического раз-

вития духовных и материальных сил человека, а путь к ее решению — в единстве естественно-научных и гуманитарных знаний. При этом человек становится одним из мощных факторов дальнейшей эволюции природы, причем фактором, действующим сознательно, и это налагает на него высокую ответственность.

В заключение следует отметить одно немаловажное обстоятельство. Создать учебник по курсу “Концепции современного естествознания” в соответствии с требованиями Государственного стандарта высшего профессионального образования РФ по содержанию каждой темы этой дисциплины — задача далеко не простая.

Дело в том, что естествознание — это система научных знаний о природе, включающая большой комплекс фундаментальных наук, — физику, химию, биологию, геологию, астрономию, космологию и т. д., и охватить все многочисленные и разноплановые вопросы современного естествознания, определенные Министерством образования и науки РФ, весьма сложно.

В связи с этим практически все имеющиеся учебники по концепции современного естествознания страдают определенной разносторонностью. Так, если авторами являются представители той или иной “точной науки”, то это обстоятельство проявляется в несбалансированности отдельных разделов курса в объеме и глубине излагаемого материала. Кроме того, эти учебники обычно перегружены многими специальными частными вопросами, не входящими в образовательный стандарт, что затрудняет целостное освоение предмета. Если же авторами являются философы, то в учебниках, напротив, в большей мере уделяется внимание наиболее общим, концептуальным, философским проблемам современного естествознания, таким как методологические проблемы познания, понятиям материи и энергии и т. д., и в меньшей степени рассматривается доказательная научная база основных концепций на конкретных примерах. В результате восприятие такого материала часто носит формальный, поверхностный характер.

В предлагаемом учебнике, обобщающем многолетний опыт преподавания данного курса в вузах, сделана попытка изложить

материал, в большей мере отвечающий требованиям Государственного стандарта высшего профессионального образования по дисциплине “Концепции современного естествознания”. В нем последовательно рассмотрены все вопросы, содержащиеся в Государственном стандарте, а с другой стороны, не включено ни каких-либо дополнительных вопросов, связанных с личными научными и профессиональными интересами. При этом особое внимание уделено тому, чтобы при рассмотрении всех вопросов выдерживались общие единые требования по раскрытию сущности и объему изложения каждого вопроса.

При работе над учебником авторы обращали особое внимание также на то, чтобы он удовлетворял определенным методическим требованиям, на то, что он адресован главным образом студентам гуманитарных специальностей. Поэтому при рассмотрении даже достаточно сложных теоретических положений современного естествознания (особенно в физике) авторы старались излагать их четко, простым языком, без сложных математических вычислений и выкладок.

Такой подход к изложению материала учебника нашел понимание и одобрение со стороны членов жюри конкурса “Лучшая научная книга-2005”, на котором было представлено 2-е издание учебника “Концепции современного естествознания”.

Оргкомитет конкурса, проводимого “Фондом развития отечественного образования”, отметил этот учебник знаком лауреата в соответствующей номинации.

Книга явилась также лауреатом конкурса на лучшую научную книгу 2008 года.

В последующие годы был получен ряд замечаний и предложений по улучшению содержания учебника. Авторы с благодарностью приняли их и учли при работе над настоящим изданием учебника.

Глава I. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ И ГУМАНИТАРНАЯ КУЛЬТУРЫ. НАУЧНЫЙ МЕТОД

1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры

Понятия “естественно-научная культура” и “гуманитарная культура” часто используются как в контексте изучения и исследования проблем естественных наук, так и при рассмотрении различных явлений и процессов в жизни человеческого общества, т. е. в гуманитарных вопросах и общественных науках.

Чтобы лучше усвоить их смысл, необходимо более подробно остановиться на двух важнейших исходных понятиях, а именно понятиях культуры и науки вообще и их взаимоотношении.

Под культурой в самом широком смысле принято понимать все то, что создано человечеством в ходе его исторического развития. То есть культура — это вся совокупность созданных человечеством материальных (материальная культура) и духовных ценностей (духовная культура), а также сама способность производить и использовать эти ценности человеком.

Очевидно, что человек может существовать только при соблюдении определенных условий бытия. Прежде всего у него должны быть пища, одежда, жилище, тепло и т. д. Все это составляет его материальные потребности. Свои потребности человек удовлетворяет посредством трудовой деятельности.

С развитием цивилизации материальные потребности непрерывно растут, и людям приходится прилагать все большие усилия для их обеспечения.

Для обеспечения продуктами жизнедеятельности (питание, вода, предметы и т. д.), а также для обеспечения высокого

качества жизни современной цивилизации (удобство, комфорт и т. д.) люди построили заводы и фабрики, организовали высоко-развитое сельскохозяйственное производство, возвели города с системами коммуникации и транспортных сетей, тепло- и электроснабжения, создали широкую сферу услуг, включая медицину и образование.

Однако материальные потребности людей не исчерпывают всех их потребностей. Человек — существо разумное и биосоциальное. Его отличают от животных, которые также имеют определенные материальные (биологические) потребности, способность мыслить, накапливать и развивать свои знания, возможность оценивать свое место в окружающем мире и обществе. Он обладает сложнейшими психико-эмоциональными способностями восприятия действительности.

В связи с этим у него, помимо материальных, имеются еще и так называемые духовные потребности. К понятию “духовное” обычно относят сознание, мышление, психологию, волю, характер ощущений, естественную потребность человека в познании окружающего мира (природы и общества).

Таким образом, духовные потребности человека — это потребность в развитии его знаний, потребность в развитии его чувств и ощущений с целью более полного и всестороннего ощущения красоты мира, в развитии воли, характера и т. д. Все это создает духовный мир человека, его духовную культуру. Развитие и совершенствование духовного мира и является в конечном счете одним из важнейших элементов смысла существования человека на Земле.

Для удовлетворения духовных потребностей люди создали науку, искусство, философию, литературу, мораль, религию и т. д. Материальными носителями “духовного” являются язык, книги, художественно-изобразительные средства.

За свою историю человечество создало и накопило огромные духовные ценности: мировоззрение; научную картину мира в виде теорий, законов природы, моделей; художественно-образные произведения; идеи и идеологии; философские системы; религии; правовые и социальные институты; эстетические идеалы и

т. д. Осваивая эти ценности, человек постепенно развивает свой внутренний духовный мир: свои знания, интересы, ценности, т. е. все элементы духовной культуры. И в конечном счете можно образно сказать, что именно духовная культура делает человека Человеком.

Важнейшей частью духовной культуры, как уже было отмечено, наряду с искусством, правосознанием, религией и т. д., является наука.

Наука — это особая сфера деятельности человека, направленная как на получение новых знаний, так и на разработку новых методов получения этих знаний. Современная наука — сложная и многообразная система отдельных дисциплин. Научоведы насчитывают их несколько сотен.

К настоящему времени сложилась устойчивая традиция подразделения всех дисциплин на две большие группы: естественно-научные и социогуманитарные знания. Возникло подразделение наук на два типа: естественные и гуманитарные. Очевидно, что естественные и гуманитарные науки различаются прежде всего по своему объекту. Первые изучают природу, а вторые — человеческое общество.

Каждая из указанных наук характеризуется собственными особенностями познавательной деятельности. Они различаются не только объектом познания, но и средствами и методами познания, формами результатов познания, стилем мышления и методологическими установками.

Совокупность систем таких ценностей, идеалов, стилей мышления, методологических установок, присущих отдельным дисциплинам и их комплексам, называют научной культурой. В частности, различают культуру естественно-научного и культуру гуманитарного познания. Так возникло и получило широкое признание представление о “двух культурах” в науке — естественно-научной и гуманитарной.

Наличие в единой культуре двух разнородных типов (естественно-научного и гуманитарного) стало предметом философского анализа еще в XIX в. Однако в XX в. произошел заметный и все более растущий разрыв естественно-научной и

гуманитарной культур. Это связано с тем, что XX в. отмечен грандиозными успехами естествознания и последовавшей за этим научно-технической революцией. Овладение атомной энергией, создание всемирных глобальных телевизионных систем, выход человека в космос, расшифровка генетического кода и т. д. — эти и другие достижения естественно-научной культуры существенно изменили стиль и образ жизни человека. Гуманитарная же культура предъявить что-либо равноценное не смогла.

В XX столетии в естествознании произошло существенное дальнейшее развитие математизации науки, приведшее к успешному применению математического моделирования для описания явлений и природных процессов, и полученные на этой основе выдающиеся достижения и открытия естественных наук приобрели статус “точных наук”, а естествознание в целом — статус “точных знаний”. Соответственно гуманитарные науки в массовом сознании перешли в разряд “неточных наук” или вообще “ненаук”.

Такое отношение к двум типам наук в середине XX в. выразилось в форме противопоставления так называемых “физиков и лириков” (“только физика — соль, остальное все — ноль”). “Физики” признавали в науке только строго рационалистические надличностные каноны естествознания, в то время как “лирики” ориентировались не только на объективное отражение социальных процессов и явлений, но и на субъективно-личностное их толкование.

Постепенно между двумя типами наук образовалась научная пропасть, которая постепенно все расширялась и расширялась. А ученые, посвятившие себя изучению естественных и гуманитарных наук, все меньше и меньше стали понимать друг друга. Возникла опасная тенденция раскола научной интеллектуальной элиты современного общества.

К счастью, в последние десятилетия процесс конфронтации двух типов наук стал сменяться их сближением и в ряде случаев — процессами интеграции. Прежде всего естествознание, являясь основой всякого знания, стало оказывать на развитие гуманитарных наук значительное воздействие своими методами, методологическими и мировоззренческими установками и

представлениями, образами и идеями. Среди выделяющихся в последнее время новых отраслей знания значительное число носит синтетический, интеграционный характер. Это, например, математическая лингвистика, космическая медицина, инженерная психология, техническая эстетика и многое другое.

Сейчас становится очевидным, что ведущей тенденцией развития цивилизации в ближайшем будущем станут объединительные процессы. Сегодня уже реализуются научные программы, получившие названия “Великое единение” или “Высокое соприкосновение”, разнообразные научные и философские идеи в рамках возрождающегося гуманизма.

Человеческое общество вступило в век господства принципиально новых технологий в различных сферах деятельности. И совершенно естественно, что новому, более высокому уровню цивилизации должна соответствовать новая, более высокая ступень развития человеческого общества в целом и самого человека в их взаимодействии с природой. Возникает задача целостного, гармонического развития духовных и материальных сил человека. А путь к ее решению — в единении и интеграции естественных и гуманитарных знаний.

1.2. Научный метод

Сопоставляя естественные науки (физика, химия, биология) с гуманитарными областями человеческой деятельности (философия, искусство, религия, литература, музыка), можно видеть, что истоки их во многом различны.

Объекты гуманитарных дисциплин созданы вдохновением и талантом человека, подарившего нам учение или сочинение, настолько сильно воздействующее на наши эмоции и разум, что мы собираем эти сокровища духа и передаем их в поколениях. Мы можем стараться превзойти знаменитого философа, артиста, писателя или композитора, но как они творят свои произведения, остается тайной.

История развития естественных наук также приводит к конкретным личностям — ученым, сделавшим открытия. Но

здесь мы можем понять, как это им удалось. Они основываются на проведенных наблюдениях и логических выводах из них. Каждый мог бы выполнить такие же операции и прийти к сходным умозаключениям. Таким образом, в науке гораздо важнее то, что вся информация основана на наблюдениях и логических выводах самого ученого (хотя мы и отдаем должное его вкладу). Отсюда следует возможность проверки информации и ее уточнение. Наука прямо противоположна принятию чего-либо на веру. Ключевое правило науки — проверять.

С течением времени сбор научной информации и выработка определенных представлений на основе такой информации подразделились на ряд последовательных этапов. Появились научные методы, объединение которых в определенную систему привело к созданию методологии проведения научных исследований. Научный метод начинается с наблюдения объектов и событий и ведет к построению научных теорий и их проверке. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

Метод — это совокупность приемов или операций практической или теоретической деятельности. Конкретные, частные, специальные приемы и способы исследования в разных науках могут заметно отличаться друг от друга, но общий подход к познанию, метод исследования остается в сущности тем же самым. В этом смысле частные приемы и методы познания, используемые в конкретных науках, можно охарактеризовать как тактику исследования, а общие принципы и методы — как его стратегию.

Для анализа и оценки различных методов существует особое учение — *методология*. Это учение о принципах построения, формах и способах научного познания. В методологии выделяют общие методы исследования, используемые большинством наук на разных этапах познавательной деятельности.

Следует подчеркнуть, что методология тесно смыкается с так называемой формальной логикой, которая главное внимание направляет на выяснение структуры готового, оформившегося знания, на описание его формальных связей и элементов на языке символов и формул при отвлечении от конкретного содержания высказываний и умозаключений.

1.2.1. Уровни научного познания

В современном естествознании обычно выделяют эмпирический и теоретический уровень научного исследования.

На эмпирическом, или опытном, уровне используются главным образом методы, опирающиеся на чувственно наглядные приемы и способы познания, к которым относятся систематические наблюдения, сравнение и аналогия.

На эмпирическом уровне накапливается первичный опытный материал, который требует дальнейшей обработки и обобщения, что осуществляется уже на теоретическом уровне анализа. Здесь выделяют следующую группу теоретических методов исследования: формализацию, индукцию и дедукцию, анализ и синтез, абстрагирование, моделирование.

На эмпирическом и теоретическом уровнях используется понятийный аппарат мышления — понятия, суждения, умозаключения.

Главная задача теоретического мышления — привести полученные данные в стройную систему и создать из них научную картину мира, лишенную логического противоречия.

Эмпирический уровень познания

Эмпирическое познание имеет дело с фактами и их описанием. Проследим всю последовательность наблюдаемых действий.

Наблюдения и факты. Вся научная информация основана на наблюдениях и подвергается объективной проверке. Непосредственные наблюдения ограничиваются только ощущениями, полученными от пяти органов чувств (зрение, слух, обоняние, осязание, вкус). Эти данные можно проверить. Наши органы чувств могут обманываться (зрительные и звуковые галлюцинации; в зависимости от условий — различное восприятие тепла и холода, вкусовых ощущений, запахов и т. д.). На этих иллюзиях часто строятся фокусы. До того, как наблюдения станут фактом, они должны быть перепроверены. Наблюдения, выдержавшие проверку, становятся научным фактом.

Таким образом, простейшей формой познания действительности являются ощущения. Это чувственные образы, отражения, копии или снимки отдельных свойств предметов. Ощущения возникают под влиянием воздействия среды на органы чувств. Мы воспринимаем предметы как целостный образ (апельсин — желтый, твердый, имеющий запах, определенный вкус и т. д.).

Процессы ощущения и восприятия оставляют после себя “следы” в мозгу, который обладает способностью сохранять воздействие внешней среды и воспроизводить в нужный момент образы предметов. Это свойство называется памятью.

В результате восприятия внешних воздействий и сохранения их во времени памятью возникают представления — образы объектов, воздействующих на органы чувств человека.

Представление об объектах исследований — это промежуточная ступень при переходе от ощущений к мышлению — высшей ступени познания. И хотя источник мышления — это ощущения и восприятия, оно выходит далеко за их границы и позволяет формировать знания о таких объектах, свойствах и явлениях, которые не доступны органам чувств. То есть открывается путь для относительно самостоятельной теоретической деятельности, лишь косвенно связанной с эмпирическим познанием.

В ряду эмпирических методов познания важное значение занимает экспериментальный метод. Эксперимент специально ставится так, чтобы можно было наблюдать процессы и явления в условиях, меньше всего подверженных воздействию посторонних факторов. Часто в эксперименте применяется контроль. Под контролем имеется в виду изучение двух групп объектов — экспериментальной и контрольной. Эти две группы должны быть в совершенно одинаковых условиях, за исключением действия только одного какого-либо фактора, который и проверяется. Тогда результат можно связать с действием данного фактора. В эксперименте должны быть представлены группы (а не отдельные особи, предметы) и они должны пройти проверку на воспроизводимость (например, растения, получающие или не получающие азот).

Теоретический уровень познания

Отдельные наблюдения и эксперименты отвечают на строго конкретные вопросы. Затем из отдельных кирпичиков информации складывается целое здание — теория. Однако при построении теории, как правило, используется уже другие, более высокие уровни познания, так называемые методы теоретического познания. Они включают формализацию, абстрагирование, индукцию и дедукцию, анализ и синтез, моделирование.

Формализация — отображение результатов мышления в точных понятиях и утверждениях. Формализация ведет к созданию определенного языка науки. Это прежде всего математический аппарат в физике, определенная символика в химии и т. д.

Абстрагирование — отвлечение от несущественных свойств и отношений изучаемого явления. Процесс абстрагирования является необходимым условием образования самых различных понятий. Осуществляемое логическими средствами выделение в предмете существенных сторон и связей — все это результаты абстрактного мышления.

Индукция и дедукция — это двуединый процесс логического мышления. Методы дедукции и индукции не противостоят, а дополняют друг друга.

Индукция — один из типов умозаключения и метод исследования. Как форма умозаключения индукция обеспечивает возможность перехода от единичных фактов к общим положениям. В качестве метода исследования индукция понимается как путь опытного изучения явлений, в ходе которого от отдельных фактов совершается переход к общим положениям. В реальном познании индукция всегда выступает в единстве с дедукцией.

Дедукция — один из основных способов рассуждения (умозаключения) и методов исследования. Под дедукцией в широком смысле понимается любой вывод вообще. В более специфическом и наиболее употребительном смысле — доказательство или выведение утверждения (следствия) из одного или нескольких других утверждений (посылок) на основе законов логики. В слу-

чае дедуктивного вывода следствия содержатся в посылках в скрытом виде, и они должны быть извлечены из них в результате применения методов логического анализа.

Анализ и синтез — в самом общем значении — процессы мысленного или фактического разложения целого на составные части и воссоединения целого из частей.

В мыслительных операциях анализ и синтез выступают как логические приемы мышления, совершающиеся при помощи абстрактных понятий и тесно связанные с рядом мыслительных операций: абстракцией, обобщением и т. д.

Логический анализ заключается в мысленном расчленении исследуемого объекта на составные части и является методом получения новых знаний. Расчленение целого на составные части позволяет выявить строение исследуемого объекта, его структуру. Цель анализа — познание частей как элементов сложного целого.

Синтез, напротив, — объединение в единое целое частей, свойств, отношений, выделенных в процессе анализа. Синтез дополняет анализ и находится с ним в неразрывном единстве.

Моделирование — воспроизведение характеристик некоторого объекта на другом объекте, специально созданном для их изучения. Этот последний называется моделью. Потребность в моделировании возникает тогда, когда исследование непосредственно самого объекта невозможно, затруднительно, дорого, требует слишком длительного времени. Между моделью и объектом должно существовать известное подобие. Оно может заключаться либо в сходстве физических характеристик модели объекта, либо в сходстве функций, осуществляемых моделью и объектом, либо в тождестве математического описания “поведения” объекта и его модели.

В каждом конкретном случае модель может выполнять свою роль тогда, когда степень ее соответствия объекту определена достаточно строго.

В зависимости от природы модели и тех сторон объекта, которые в ней воплощаются, различают модели “физические” и

“математические”. “Математическое” моделирование, в отличие от “физического”, может быть осуществлено в виде характеристик иной, чем у моделируемого объекта, физической природы. Обязательно лишь, чтобы известные стороны модели описывались той же математической формулой, что и моделируемые свойства объекта.

В наши дни широкое распространение получило моделирование на электронно-вычислительных машинах. Основные достоинства такого рода моделей — их универсальность, удобство, быстрота и относительная дешевизна исследования.

1.2.2. Методология научного исследования

Рассмотренные методы и последовательное их применение позволили создать совершенную методологию научного исследования, способную решать основную задачу естественно-научного познания, задачу правильно отражать объективную действительность в сознании человека, отражать ее такой, какой она существует сама по себе, независимо от сознания.

Между явлениями природы существуют устойчивые, повторяющиеся связи — проявления законов природы. В ходе анализа экспериментальных результатов могут обнаружиться определенные тенденции или взаимосвязи между данными (на первый взгляд, разными). Например, если ронять предметы и измерять их скорость в различных точках полета, то во всех случаях без исключения окажется, что они падают с одинаковым ускорением (если пренебречь сопротивлением воздуха). Таким образом, речь идет об основном принципе свободного падения. Когда открыт такого рода принцип поведения всех объектов, его называют законом природы. В данном случае имеется в виду закон тяготения.

Другим примером могут служить наблюдения, согласно которым в химических реакциях атомы только перегруппировываются, но не образуются, не разрушаются и не изменяются. Этот принцип называют законом сохранения массы.

Многочисленными экспериментами также установлено, например, что одна из характеристик движения — энергия —

сохраняется в любых происходящих процессах: механических, тепловых, оптических, электрических, химических и т. д. И такой принцип называется законом сохранения энергии.

Одним из основных законов термодинамики, например, является закон возрастания энтропии.

В системе научного знания большее значение имеют теории. Они дают представление о закономерностях и существующих связях в определенной области. Теории более высоких ступеней познания имеют, как правило, математическую форму выражения.

Обычно созданию теории предшествует выдвижение целого ряда предположений — гипотез для объяснения всей совокупности имеющихся явлений, в том числе причинно-следственных связей. Производя последовательную проверку каждой гипотезы с помощью тестов или экспериментов и отбрасывая неверные ответы, можно рано или поздно прийти к верным. Если гипотеза верна, то “нечто” должно логически из нее вытекать. Если это “нечто” не следует, то гипотезу отбрасывают. Это как бы составление вопроса, предполагающего несколько вариантов ответа, каждый из которых — гипотеза, формулируемая ученым. Для проверки гипотез часто ставится особый эксперимент.

Теория — это обобщение, логически объясняющее определенный набор фактов. Построение ее сходно с детективным расследованием, когда по отдельным уликам (наблюдениям) выясняют общую картину преступления и отвечают на вопрос “Кто виноват?” Теория сама по себе — не факт, так как недоступна для непосредственного наблюдения. Тем не менее ее можно проверить, и в зависимости от результатов, признать или отклонить.

Проверка теорий происходит так же, как и в случае гипотез. Теория предсказывает некоторое событие, которое можно наблюдать либо непосредственно, либо в ходе эксперимента, используя рассуждения типа “если..., то...” Если полученные результаты противоречат теории, ее либо изменяют (чтобы охватить новые данные), либо отклоняют в поисках другой теории, способной дать совокупности фактов разумное объяснение. В любом случае теория развивается в соответствии со всеми наблюдениями

и экспериментальными фактами и может использоваться для предсказания будущих результатов по методу “если..., то...”

Когда теория достигает этого уровня, есть все основания считать ее правильной интерпретацией действительности. Например, мы никогда не видели атомы как таковые, но многочисленные наблюдения и экспериментальные результаты вполне объясняются концепцией, согласно которой все газы, жидкости и твердые тела состоят из различных сочетаний немногим более ста видов атомов элементов периодической системы Менделеева. Поэтому общепризнана атомистическая теория строения вещества.

Важность этой теории подчеркнул лауреат Нобелевской премии по физике за 1965 г. Ричард Фейнман в знаменитых “Лекциях по физике” следующими словами: “Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтожены, и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это — атомная гипотеза (можете называть ее не гипотезой, а фактом): все тела состоят из атомов — маленьких телец, которые находятся на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижимать к другому. В одной этой фразе содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения”.

Главное отличие теории от гипотезы — ее достоверность, доказанность. Естественно-научная теория дает объяснение целой области явлений в природе с единой точки зрения.

Квинтэссенцией теории являются законы, устанавливающие количественные связи, соотношения между различными наблюдаемыми в опыте величинами.

Нужно различать законы природы и законы науки. Первые проявляются в особенностях протекания природных явлений и процессов и во взаимосвязи некоторых величин. Они неизменны и всегда выполняются.

Научные законы — это попытка описать законы природы на основе математических формул или других точных формулировок.

Однако для понимания специфики теории как формы знания важно учитывать, что все теории оперируют не реальными объектами, а их идеальными моделями, которые неизбежно абстрагируются от каких-то реальных сторон объектов и поэтому всегда дают неполную картину действительности.

Главные элементы теории — ее принципы и законы. Принципы — наиболее общие и важные фундаментальные положения теории. Как обобщающий результат познания в данной теории принципы всесторонне раскрываются и обосновываются. При самом построении теории принципы играют роль исходных, основных и первичных посылок, закладываются в сам фундамент теории.

Законы конкретизируют принципы, раскрывают взаимосвязь вытекающих из них следствий. Раскрывая сущность объектов, законы их существования, взаимодействия, изменения и развития, теория позволяет объяснить явления, предсказывать новые, еще неизвестные факты и характеризующие их закономерности, прогнозировать закономерное поведение изучаемой системы в будущем.

Таким образом, теория выполняет две важнейшие функции: объяснение и предсказание, научное предвидение. Теория — одна из наиболее устойчивых форм научного знания. Стабильность обеспечивается ее системностью и, в большей или меньшей степени, общим характером. Чем более общим является знание, тем оно устойчивее.

Но и теории подвержены количественным и качественным изменениям. Вслед за изменением фактического, эмпирического базиса теории, накоплением новых фактов ее законы уточняются или дополняются новыми. В конце концов изменения затрагивают и фундаментальные принципы теории.

Переход к новому принципу — по существу переход к новой теории. При этом новая теория должна обязательно удовлетворять принципу соответствия, сформулированному Н. Бором. Согласно этому принципу каждая правильная новая, более общая теория должна не отвергать устоявшуюся предшествующую ей, менее общую, а сводиться к ней в тех условиях, при которых

эта предшествующая теория была получена. Так например, более общая специальная теория относительности не отвергает классическую механику, а сводится к ней при скоростях, много меньших скорости света.

Все теоретическое знание выражается не в одной теории, а в совокупности множества теорий. Изменения в наиболее общих теориях приводит к качественным изменениям всей системы теоретического знания, в результате чего происходит научная революция. Такие научные революции связаны с именами Н. Коперника, И. Ньютона, А. Эйнштейна.

Глава 2. ИСТОРИЯ, ПАНОРАМА И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

2.1. История развития естествознания

2.1.1. Краткая история физики

Проблемы происхождения и устройства всей природы в целом, всего того, что есть во Вселенной, первоначально относились к “физике”. Древнегреческое слово “*physikà*” дословно означает природу во всей ее совокупности. Именно так — “Физика” — назвал одно из своих сочинений древнегреческий философ-энциклопедист Аристотель (384–322 гг. до н. э.). В нем он отмечал, что “наука о природе изучает преимущественно тела и величины, их свойства и виды движения”.

Таким образом, исторически физика является исходной основой науки о природе. И несмотря на то, что в дальнейшем получили большое развитие и многие другие науки о природе, составляющие основу современного естествознания (прежде всего это — химия и биология), тем не менее физика всегда вследствие общности и широты своих законов оказывала мощное воздействие на развитие философии и через нее — на развитие всех естественных наук, включая их теоретические основы, методологию, направление и методы исследований.

Начало физики, как и других естественных наук, связано с накоплением различных фактов, установленных непосредственным путем. Поэтому история физики уходит в глубокую древность.

Уже первобытный человек, добывая пищу и одежду, защищаясь от диких зверей, постепенно накапливал знания об окружающем мире. Знания накапливались, практический опыт обогащался и передавался от поколения к поколению.

Так, с незапамятных времен в строительных работах использовались рычаги, наклонные плоскости, блоки различных конструкций для подъема и транспортировки тяжелых грузов. Такие приспособления применялись при строительстве египетских пирамид, монументальных сооружений в Междуречье (Вавилон). Очевидно, что создание таких древних сооружений требовало, по крайней мере, эмпирических знаний в области строительной техники, механики. Так формировались зачатки знаний по механике — одному из первых разделов физики.

Также очень давно люди научились определять и измерять время, главным образом изучая движение небесных тел. В результате появились календари (предположительно впервые появились в Египте в IV тысячелетии до н. э.). Древнейшие цивилизации Египта, Шумера, Вавилона, Индии, Китая накопили определенный опыт естествознания, фактические сведения о природе. С возникновением письменности около III тысячелетия до н. э. (иероглифы в Китае и клинопись в Шумере) появилась возможность передачи накапливаемой информации.

Следующий важный этап в истории всего естествознания, в том числе и физики, связан с так называемым античным периодом.

2.1.2. Античный и средневековый период

Античный период охватывает древнегреческую (V–III вв. до н. э.) с центром в Афинах и эллинскую цивилизацию (III в. до н. э. — VI в. н. э.) с центрами в Александрии и Риме.

Древняя Греция в силу целого ряда причин оставила глубокий след в истории развития человеческой цивилизации, начиная с Фалеса (625–547 гг. до н. э.) и заканчивая Аристотелем. В течение этого периода вырабатываются общие точки зрения на окружающий мир, ставятся вопросы о природе материи и духа, о развитии материального мира и законах его развития,

о строении Вселенной, о природе пространства и времени, природе движения, природе света и т. д. Возникают такие мощные натурфилософские концепции, как атомистика Демокрита и натурфилософия Аристотеля.

Ученые Древней Греции были философами-энциклопедистами. Среди тех, кто внес наиболее заметный вклад в становление естествознания, укажем следующих.

Фалес — первый достоверно известный греческий ученый, создавший первую школу естествознания. От него ведут начало, в частности, наши сведения по электричеству и магнетизму.

Анаксимандр (610–540 гг. до н.э.) дал первую формулировку закона сохранения материи, первоначальную идею об эволюции всего живого: “Человек произошел от рыбы и вышел из воды на сушу”. С именем Анаксимандра связано самое раннее сочинение о природе, написанное прозой, а не стихами, которое так и называется — “О природе”.

Гераклит (544–483 гг. до н.э.) сформулировал идею о саморазвитии природы. “Этот космос не создал никакой бог или человек, но всегда он есть, был и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим. Жизнь природы — непрерывный процесс движения, в нем всякая вещь переходит в свою противоположность, и это есть источник развития”. Гераклит также написал сочинение “О природе”.

Анаксагор (500–428 гг. до н.э.) дал картину образования космических тел. Он объяснил возникновение всех небесных тел из первичного, хаотичного смешения частиц вещества в результате их вихревого вращения. Позже, в средние века эта идея нашла развитие в трудах И. Канта и П. С. Лапласа.

Демокрит (460 – ок. 370 гг. до н.э.) и Аристотель, по сути, обобщили античную натурфилософию и сформулировали две принципиально различные концепции взглядов на окружающий нас мир, которые включали такие вопросы, как возникновение мира и Вселенной, строение Вселенной, строение материи и развитие материального мира, изучение законов движения.

Демокрит изложил свои взгляды в капитальном труде “Великое строение мира”, а Аристотель — в сочинениях “Физика”,

“О космосе”, “Описание животных” и др. Ниже приводятся взгляды Демокрита и Аристотеля по указанным вопросам.

Демокрит считал, что мир материален, причем материя вечна и неуничтожима, ее никто не создал. “Выделяясь из беспредельного, несетя множество разнообразных тел в Великую пустоту; собравшись, они образуют единый вихрь, в котором они, кружась, разделяются, а, сплетаясь, движутся вместе, образуя шарообразные соединения, которые воспламеняются и образуют звезды”. Вся Вселенная бесконечна и имеет множество миров.

Демокрит говорил, что материя состоит из атомов и пустоты, атомы находятся в постоянном движении, атомы вечны, неизменны, неделимы и отличаются друг от друга лишь величиной и формой. Это так называемая корпускулярная концепция строения материи.

Движение присуще материи. Звук, теплота, свет — это субстанции, которые излучаются телами в виде частиц-корпускул.

Точка зрения Аристотеля на мироздание следующая: Вселенная конечна во времени и пространстве. В центре Вселенной — Земля, вокруг которой вращаются сферы, на которых находятся Луна, Солнце, планеты, на самой далекой сфере — звезды небосвода. Это так называемая геоцентрическая система мира. В дальнейшем (Пв. н.э.) эту систему разработал Птолемей (ок. 90–160 гг.), и она вошла в науку как система Аристотеля–Птолемея.

Аристотель считал также, что мир материален, но объективно существуют конкретные вещи (предметы), а материя — некая субстанция, из которой при определенных условиях могут возникнуть те или иные предметы. Реальные тела можно дробить непрерывно, до бесконечности. Это так называемая континуальная концепция.

Под движением он понимал общее изменение. Основными формами движения являются: возникновение и уничтожение (качественное изменение), рост и убыль (количественное изменение) и наконец — механическое перемещение.

Аристотель первым стал рассматривать движение тел в пространстве и времени. “Движутся вещи во времени и про-

странстве” (“Физика”). Он ввел понятие естественного (круговое движение планет, свободное падение тел) и насильственного движения. Аристотель считал, что свет передается через некую среду — эфир в виде волн.

Из краткого перечня видно, что древние греки выдвинули целый ряд глубоких мировоззренческих идей и концепций. Именно древним философам принадлежат такие идеи, как идея о материи, идея о неуничтожимости материи и движения, идея о всеобщей причинности, идея об относительности механического движения. А в числе важнейших концепций выдвинуты концепция атомизма, концепция эволюционного развития, концепция самоорганизации и саморазвития в природе. Указанные концепции, всесторонне обоснованные в дальнейшем на совершенно ином научном уровне, служат одними из фундаментальных основ современного естествознания.

Эллинский (эллинистический) период (III в. до н. э. — VI в. н. э.) обычно подразделяется на два этапа: александрийский (III в. до н. э. — I в. н. э.) и древнеримский (I–IV вв. н. э.)

Первый, александрийский, этап связывается прежде всего с такими выдающимися учеными, как Евклид (III в. до н. э.) и Архимед (ок. 287–212 гг. до н. э.).

В эллинский период полностью оформилась в самостоятельную науку астрономия (Аристарх Самосский (конец IV — начало III вв. до н. э.), Эратосфен (ок. 276–194 гг. до н. э.), Гиппарх (ок. 180–125 гг. до н. э.), Птолемей).

С именем александрийского ученого Евклида прежде всего связан его выдающийся вклад в математику. В своих “Началах” он обобщил все, что было сделано до него в области математики. Он создал настолько совершенную систему геометрии, что она почти в неизменном виде просуществовала многие столетия. В “Началах” изложены также два основных закона геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света и закон отражения. Таким образом, Евклида можно считать основоположником геометрической оптики.

Другим выдающимся ученым был Архимед. Прославился он как математик, механик, гидравлик, оптик, военный инженер.

В математике он решил задачу вычисления площади круга, а также объемов цилиндра, шара и конуса. В математике применяется знаменитая “архимедова” величина π (пи).

В механике Архимед большое внимание уделял проблеме рычага. Он ввел понятие центра тяжести тел и создал теорию способов нахождения центра тяжести многих тел и фигур.

Архимед по праву считается родоначальником гидростатики. В сочинении “О плавающих телах” он развил теорию равновесия плавающих тел, в основе которой лежит закон, носящий его имя.

Архимед также занимался оптическими исследованиями. Он рассматривал увеличение и уменьшение изображений в выпуклых и вогнутых зеркалах. Он также экспериментально изучал с помощью сконструированного им устройства явление преломления света в воде.

Известно, что Архимед был также талантливым изобретателем и инженером. Он изобрел винт для поднятия воды (архимедов винт), червячную передачу, широко используемую в современной технике в редукторах. Он создал водоподъемные машины для орошения полей, использовал блоки и винты для поднятия тяжелых грузов.

После Архимеда в Александрии жил и работал Герон (I в. до н. э.) — знаменитый конструктор различных механических устройств, действующих при помощи сжатого или нагретого воздуха или водяного пара. Особый интерес представляют результаты изучения им реактивного действия пара. Герон построил нечто вроде реактивного двигателя, имевшего название “эолопил” (шар, вращающийся силой пара — прообраз нынешней паровой турбины).

В его сочинении “Механика” описаны свойства простых механизмов: ворота, рычага, блока, клина, винта, зубчатых передач, а также более сложных устройств. Это — фактически энциклопедия античной техники.

С именем Герона связан также дальнейший этап в развитии оптики. В частности, он сделал заметный вклад в теорию оптических инструментов.

Второй, древнеримский, период связан с успехами в естествознании Тита Лукреция Кара (99–55 гг. до н. э.), Марка Витрувия Поллиона (2-я половина I в. до н. э.) и Клавдия Птолемея (ок. 87–165 г. н. э.).

Взгляды Лукреция Кара содержатся в поэтическом естественно-научном энциклопедическом сочинении “О природе вещей”. В этом труде Лукреций, по сути, формулирует закон сохранения материи. Здесь он также предвосхищает формулировку закона сохранения энергии.

То, что представляла собой техника времен древнеримского периода, описано в сочинении Витрувия “Об архитектуре” в 10 книгах. Витрувием описаны машины для поднятия тяжестей, водочерпальные колеса, используемые для водоснабжения и орошения полей, водяные мельницы, конструкции, которые дошли до наших дней. А в военном деле широко применялись различные метательные машины, катапульты, баллисты и др.

Большое внимание в сочинении Витрувия уделяется вопросам акустики. Впервые распространение звука представляется им как волновой процесс. Витрувий также продолжил разработку законов музыкальной гармонии, начатых Пифагором в VIII в. до н. э.

Заканчивая исторический обзор работ этого периода, остановимся на сочинениях александрийского ученого Клавдия Птолемея. Самое крупное его сочинение — “Великое математическое построение астрономии в 13 книгах” — дошло до нас в арабском переводе под названием “Альмагест”. В нем систематизированы и обобщены все предыдущие знания астрономов. И на этой основе Птолемей завершил так называемую геоцентрическую теорию мироздания (систему мира Аристотеля–Птолемея).

Кроме “Альмагеста” известно еще одно сочинение Птолемея — “Оптика”, в котором он изложил теорию зрения, теорию зеркальных отражений, подробно описал явления отражения и преломления света.

Заключая античный период, отметим, что в древности были получены также первые сведения об электрических и магнитных явлениях. Однако взгляды на природу оптических и электро-

магнитных явлений продолжали оставаться примитивными и далекими от их научных объяснений еще долгие годы.

Средневековый период. Под Средневековьем обычно понимают примерно тысячелетний период от распада Римской империи (VI в. н. э.) до эпохи Возрождения (XIV–XV вв.). Постепенно центр развитой цивилизации из Рима переместился в Византию, а затем в страны арабского Востока Арабский халифат с центром в Багдаде и в Среднюю Азию с центрами в Самарканде и Бухаре. К этому времени высокий уровень цивилизации сложился также в Индии и Китае. В Китае, например, уже в III в. был открыт порох и изобретен компас.

Культура арабского Востока во многом восприняла достижения античного мира. В VIII–IX вв. на арабский язык были переведены важнейшие труды античных ученых Аристотеля, Архимеда. В странах Арабского халифата появляются университеты, причем значительно раньше, чем в Европе.

Арабские ученые в целом восприняли и систематизировали знания античных натурфилософов. В области астрономии за основу они взяли систему Аристотеля–Птолемея, переведя основной труд последнего автора под названием “Альмагест”. В области физических исследований в Средневековье получили дальнейшее развитие главным образом оптика и механика. Наиболее значительные работы по оптике были выполнены арабским ученым Ибн аль-Хайсамом (Альхазеном) (965 – ок. 1039 г.). В семитомном сочинении “Сокровище оптики” он исследовал преломление света и отражение света зеркалами, разработал теорию зрения и формирования зрительного восприятия. Интересно отметить, что Альхазен высказал предположение о том, что свет распространяется с конечной скоростью.

В средние века, несмотря на общий научный застой, было много сделано в области механических и технических изобретений. Среди них наиболее значимыми были создание водяных и ветряных мельниц.

Изобретение компаса привлекло внимание к изучению магнитных явлений, природы сил магнитного взаимодействия. Изобретение пороха стимулировало изучение процессов горе-

ния, взрыва и теплопередачи, а также механических вопросов баллистики.

К XII–XIII столетиям в результате нашествий монголов с Востока и Крестовых походов с Запада постепенно происходит перестройка политической карты стран арабского Востока, и центры мировой цивилизации снова стали перемещаться в европейские страны — Италию, Францию, Англию.

В XII–XIII столетиях в Западной Европе появилось значительное число переводов научных трудов с арабского языка на латынь. В результате в Европе стали известны многие открытия и изобретения, полученные на Востоке, в том числе в Индии и Китае, а также труды древнегреческих ученых. Освоение этих знаний привело к прогрессивным изменениям, особенно это коснулось быстрого развития техники.

В XII столетии в Европе были изобретены механические часы (пока что без маятника). Возникла целая отрасль производства — производство часовых механизмов. В XIII в. Италии были изобретены очки, а использование линз стало основой при создании многих оптических инструментов, в том числе микроскопа и телескопа. В XIV в. начинает развиваться огнестрельная артиллерия, переходит на новый уровень вся военная техника.

В XIII в. начался процесс пересмотра всех основных установок и доктрин средневековой схоластики, касающихся учений об окружающей действительности. Особую роль в этом отношении сыграл средневековый английский ученый Роджер Бэкон (ок. 1214 – после 1294 г.). Он был философом, математиком, физиком-оптиком, астрономом. Р. Бэкон явился одним из первых представителей научного эмпиризма и провозгласил единственным источником познания опыт, став провозвестником принципиально нового направления в естествознании — экспериментального естествознания. В этом отношении он был фактическим предшественником Г. Галилея.

Эпоха Возрождения. Эпоха Возрождения в странах Западной Европы охватывает период XIV–XVI вв. В это время здесь происходит процесс возврата к духовным ценностям античного мира, к всестороннему развитию творческой деятельности че-

ловека. Это был период нового, революционного переворота, во взгляде на мир, на место человека в мире, на методы научного познания.

Примером всестороннего развития личности может служить жизнь Леонардо да Винчи (1452–1519 гг.), который был одновременно и художником, и ученым, и архитектором, и изобретателем-инженером.

В области физики Леонардо да Винчи выдвинул универсальную физическую концепцию волнового движения. По этой концепции, свет, звук, запах, магнетизм распространяются волнами.

В области технических изобретений наиболее известными являются его приспособления для передачи механического движения: цепная и ременная передача, роликовая опора, “карданные” зацепления и ряд других. Многие идеи Леонардо да Винчи в области механики были развиты его последователями Николо Тарталья (1500–1576 гг.), Джеронимо Карданом (1501–1576 гг.), Джованни Бенедетти (1530–1590 гг.).

2.1.3. Классическая физика

Однако подлинная научная революция в эпоху Возрождения произошла вначале в астрономии с появлением знаменитого труда Николая Коперника (1473–1543 гг.) “Об обращении небесных сфер” (1543 г.), в котором утверждается новое представление о строении мира и места в нем Земли и в котором он отверг поддерживавшуюся в науке более 13 веков систему мира Аристотеля–Птолемея и разработал гелиоцентрическую систему мира.

Следующий крупный вклад в создание теории движения планет в гелиоцентрической системе, в создание небесной механики внес немецкий ученый Иоганн Кеплер (1571–1630 гг.).

Научная революция на рубеже XVI–XVII вв. достигает наибольшего размаха в деятельности самой крупной фигуры европейской физической науки того времени Галилео Галилея (1564–1642 гг.).

Он не только защищает и распространяет учение Коперника, но утверждает новое мировоззрение, новый взгляд на

научное познание, на задачи и метод науки. В результате его деятельности и ряда других ученых, в частности Фрэнсиса Бэкона (1561–1626 гг.) и Рене Декарта (1596–1650 гг.), начинается развиваться экспериментальное естествознание и, в частности, одна из важнейших ее частей самостоятельная наука физика.

Помимо научных исследований в области физико-математических наук Галилей много внимания уделял решению технических проблем своего времени. Так, например, Галилей в 1609 г. сконструировал зрительную трубу — телескоп и первым среди астрономов использовал ее в астрономических наблюдениях. В результате он получил целый ряд аргументов, подтверждающих учение Коперника. Свои взгляды на систему Коперника он изложил в книге “Диалог о двух главнейших системах мира” (1632 г.).

В другом крупном научном труде “Беседы и математические доказательства о двух новых науках”, вышедшем в 1638 г., он изложил результаты своих исследований по механике и акустике. Здесь он сформулировал два важнейших принципа в механике — принцип инерции, т. е. свойство тел сохранять свою скорость, и классический принцип относительности движения, заключающийся в том, что все законы движения одинаковы в любых системах отсчета, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно. Установление этих важнейших принципов сделало Галилея основоположником классической механики.

Из других направлений исследований следует отметить многочисленные опыты Галилея по изучению закона свободного падения тел. Экспериментальный метод Галилея позволил установить, что скорость падения тел не зависит от их массы (в противоположность точке зрения Аристотеля), а пропорциональна времени падения, и все тела падают с одинаковым постоянным ускорением.

Галилей также заложил основы динамики. С его исследований, собственно говоря, и начинается развиваться эта область физических наук, а Галилео Галилей справедливо считается родоначальником физической науки в современном ее пони-

мании. Как уже отмечалось, на рубеже XVI–XVII вв. утверждается экспериментальное естествознание, т. е. возникает экспериментальный и математический метод исследования. В этот период возникает новая философия, философия материализма. Крупнейшими ее представителями были Фрэнсис Бэкон и Рене Декарт.

Ф. Бэкон создает так называемый “индуктивный” метод научного исследования, который заключается в необходимости постепенного последовательного накопления опытных данных, которое дополняется теоретическим анализом с использованием математики, для построения обобщающей научной теории.

Декарт по-другому рассматривал процесс познания. Он создал так называемый “дедуктивный” метод, суть которого заключалась в следующем. Сначала надо установить некие общие принципы, лежащие в основе всех законов и явлений природы, а затем с помощью дедукции вывести множество частных закономерностей, проверяемых на опыте. Опыт здесь играет роль критерия правильности частных выводов из общих принципов. Особое внимание он также уделял математизации физики.

Важнейшие философские и физические идеи Декарта нашли отражение в “Началах философии” (1644 г.). Декарт предложил общие принципы. Он полагал, что этими принципами являются основные свойства материи и ее движения. Из общих положений он формулирует принцип сохранения движения в природе. А затем он впервые устанавливает закон, близкий по смыслу к современному закону сохранения “количества движения”.

В 1637 г. вышла его книга “Рассуждение о методе как средстве направлять свой разум и отыскивать истину в науках”. Здесь он применил свой метод для решения некоторых вопросов в геометрии и оптике. В области геометрии Декарт изложил начала аналитической геометрии, ввел “метод координат”. В оптике он сформулировал закон отражения и преломления света.

Английского ученого Уильяма Гильберта (1544–1603 гг.) называют “отцом науки об электричестве и магнетизме”. Он проводил классические опыты с магнитной стрелкой, что позволило ему улучшить компас.

Большой заслугой Галилея перед наукой является также то, что он создал целую школу своих последователей — блестящих физиков-экспериментаторов.

В последние годы жизни Галилея его помощником при проведении опытов по механике был Эвангелиста Торичелли (1608–1647 гг.), который в дальнейшем развил область механики, связанную с баллистикой, с движением тел в воздухе. В результате Торичелли установил существование атмосферного давления и разработал методы его измерения. Он впервые выяснил, что ветер — это движение воздушных масс, возникающее из-за разности атмосферного давления. А в 1643 г. он разработал метод получения вакуума (“торичеллиевой пустоты”).

Вторая половина XVII в. отмечена существенным продвижением принципиального характера в области оптических исследований.

Франческо Гримальди (1618–1663 гг.) в сочинении “Физический трактат о свете, цвете и радуге” описал эксперименты, приведшие его к открытию дифракции света. Термин “дифракция” введен Гримальди и используется до сих пор. Им также было описано явление интерференции света.

В 1669 г. датский ученый Эразм Бартолин (1625–1698 гг.) открыл явление двойного лучепреломления в исландском шпате.

Значительное внимание в этот период уделялось и вопросу о природе света. Еще в древние времена наметилось два основных взгляда на природу света, которые в XVII в. оформились в два основных направления. Согласно первому из них свет — это некое действие или движение, передающееся от светящегося предмета особой средой. Согласно второму свет — это некоторая субстанция, распространяющаяся от светящегося тела. Эти направления явились исходным пунктом двух теорий света — волновой и корпускулярной.

В XVII в. было немало ученых, которые придерживались корпускулярной теории и рассматривали свет как поток особых атомов — световых частиц. Это были, например, Г. Галилей и И. Ньютон.

Основателем волновой теории можно считать Декарта. Сторонниками этой теории были также крупнейшие ученые XVII в.

голландец Христиан Гюйгенс (1629–1695 гг.) и англичанин Роберт Гук (1635–1703 гг.).

Свои работы по оптике Гюйгенс обобщил в “Трактате о свете” (1690 г.), где он изложил стройную волновую теорию света. В ней он впервые ввел понятие эфира, заполняющего все пространство. Рассматривая свет как распространение движения в эфире, обладающем определенными свойствами, Гюйгенсу удалось объяснить с точки зрения волновой теории прямолинейное распространения света, законы отражения и преломления, в том числе и двойное лучепреломление света. Объясняя механизм распространения света в эфире, он выдвинул свой знаменитый принцип, носящий его имя. Другим достижением Гюйгенса в оптике было открытое им в 1678 г. явление поляризации света.

Другим крупным физиком — сторонником волновой теории света был Р. Гук, который, как и Гюйгенс, имеет большие заслуги как в оптике, так и в механике. В области оптики он впервые выдвинул гипотезу о поперечности световых волн (что, как известно, подтвердилось в дальнейшем). Гук заложил основы физической оптики и микроскопии, высказал прогрессивные идеи о природе света и теории цветов. Он существенно усовершенствовал микроскоп и впервые применил его для научных исследований. В области механики Гук открыл закон, носящий его имя, играющий важную роль в теории упругости материалов.

Важным достижением оптики в XVII в. было также определение скорости света, произведенное датским астрономом Оле Кристенсеном Ремером (1644–1710 гг.). Ремер, наблюдая за одним из спутников Юпитера, впервые доказал конечность скорости света и сделал соответствующие количественные оценки.

И замыкает плеяду выдающихся ученых XVII — начала XVIII в. великий английский математик, физик, астроном и философ Исаак Ньютон (1643–1727 гг.).

В области математики он создал важнейшие разделы современной высшей математики — дифференциальное и интегральное исчисление. В области физики он, как и многие другие его современники-физики, занимался проблемами оптики и механики.

Свои основные достижения в оптике он опубликовал в большом труде “Оптика”, вышедшем в 1704 г. Здесь Ньютон изложил свои опыты по дисперсии солнечного света и впервые дал научное объяснение этому явлению. Эти исследования сыграли большую роль в дальнейшем развитии взглядов на природу света. В частности, результаты этих опытов было легко толковать с точки зрения корпускулярной теории.

Другим достижением было наблюдение хорошо известного сейчас интерференционного явления, названного “кольцами Ньютона”. И, наконец, в последней части “Оптики” дается описание экспериментов по дифракции света.

Однако главные и важнейшие открытия Ньютон сделал в области механики. Он создал основы классической механики и разработал теорию движения небесных тел. Основное научное наследие Ньютона содержится в его главном труде — “Математических началах натуральной философии”, вышедшем в 1687 г. (окончательный вариант издан в 1726 г.).

В “Началах” при формировании основных понятий механики он прежде всего коснулся общих методологических вопросов: о пространстве и времени, о силе, о природе силы тяжести. Затем Ньютон более точно определил понятие силы (F), “врожденной силы” (инерции) и массы (m) как количественной меры материи, а также количественную меру движения — “количество движения” (mv , где v — скорость движущегося тела).

После определения основных понятий механики он устанавливает общеизвестные сейчас три знаменитых закона механики, которые и составляют основу классической механики. Важно подчеркнуть, что законы механики представлены им в строгом, количественном математическом виде.

Введение Ньютоном понятия силы как причины изменения движения сыграло огромную роль в дальнейшем развитии науки, так как во многих других разделах физики ученые прежде всего стремились установить природу тех или иных сил (электромагнитных, ядерных, сил тяготения и т. д.). Да и сам Ньютон для объяснения законов небесной механики нашел выражение для силы, действующей между телами, имеющими массы m_1 и m_2 :

$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$, где R — расстояние между телами; γ — так называемая гравитационная постоянная.

Таким образом, применение законов механики позволило Ньютону дать теоретическое описание гелиоцентрической системы мира. А следующим шагом на этом пути явилось открытие им закона всемирного тяготения.

Итак, Ньютон сыграл важнейшую роль в развитии физики. Он является одним из основателей современной научной методологии, основоположником классической механики. Он завершил период становления физики как самостоятельной науки. Ньютон окончательно отделил физику от натурфилософии и наметил научную программу, по которой развивалась физика в XVII–XIX вв.

С общенаучной, философской точки зрения в этот период продолжалась борьба между двумя основными концепциями строения материи — корпускулярной (Демокрит) и континуальной (Аристотель). Что касается строения вещества, то большинство ученых придерживалось атомистической (корпускулярной) концепция. С другой стороны, исследования по оптике, где встал вопрос о природе света, в большей мере отдавали предпочтение континуальной точке зрения. Открытие таких явлений, как дифракция, интерференция, поляризация света, привело к утверждению волновой теории света (Гюйгенс, Гук), распространяющегося через некую упругую среду — эфир. В то же время многие ученые, в том числе и Ньютон, считали, что свет представляет собой поток частиц — корпускул. Окончательный ответ на этот многовековой спор в науке был дан только в XX в.

Физика XVIII–XIX вв.

Основными направлениями исследований после Ньютона, помимо традиционных разделов — механики и оптики, стали тепловые процессы, электричество и магнетизм.

В XVIII в. изучение механики, оптики, тепловых, электрических и магнитных явлений протекало в значительной мере обособленно, и только в XIX в. появляется понимание единства

общей физической картины мира, того, что отдельные явления в каждом из указанных разделов физики отражают превращение различных форм энергии друг в друга — механической, тепловой и электромагнитной.

В связи с этим вначале целесообразно дать краткую историческую характеристику каждого из указанных направлений.

Механика. После установления Ньютоном основных законов и принципов в механике возникла необходимость разработки удобных математических методов решения конкретных статических и динамических задач. В связи с этим была создана аналитическая механика (математическая механика). Наибольший вклад в это направление внесли Леонард Эйлер (1707–1783 гг.) (основное сочинение — “Механика, или Наука о движении, изложенная аналитически”, 1736 г.), Жан Лерон Даламбер (1717–1783 гг.) (“Трактат о динамике”, 1743 г.), Жозеф Луи Лагранж (1736–1813 гг.) (“Аналитическая механика”, 1788 г.) и Уильям Роуан Гамильтон (1805–1865 гг.) (“Общий метод динамики”, 1834–1835 гг.).

Труды указанных механиков-математиков завершили период разработки классической механики. А созданные ими аналитические методы в современной теоретической физике не только приобрели огромное значение для механики, но и получили широкое применение практически во всех других разделах — в термодинамике, электродинамике, акустике, атомной физике.

Оптика, наряду с механикой, является одним из самых древнейших предметов исследований. К началу XVIII в. состояние дел в оптике было следующим. Были открыты законы прямолинейного распространения, отражения и преломления света. Эти законы нашли свое объяснение в рамках теории геометрической оптики, в основе которой использовались представления о “световом луче”.

К этому времени был открыт и экспериментально изучен ряд оптических явлений, в том числе дифракция, дисперсия, двойное лучепреломление, интерференция, поляризация.

Для понимания и объяснения всей совокупности вновь открытых явлений стала развиваться новая ветвь теоретической оптики — физическая оптика, центральным вопросом которой стал вопрос о природе света.

Как уже отмечалось, к этому времени сложились две противоположные точки зрения — корпускулярная и волновая. В первом случае считалось, что свет — это поток частиц — корпускул, движущихся от источника света с большой скоростью. Волновая теория исходила из представления о том, что светящееся тело возбуждает вблизи себя некую тонкую невесомую среду — эфир, которым заполнено все пространство, и это возбуждение в виде продольной волны (как звук от источника звука распространяется в виде продольных акустических волн по воздуху) распространяется в окружающее пространство.

Сторонники корпускулярной точки зрения, в том числе и Ньютон, смогла объяснить со своих позиций прямолинейное распространение, законы отражения и преломления света, явление дисперсии и цветовые ощущения.

Сторонники волновой концепции, и прежде всего Гюйгенс, со своей точки зрения объясняли законы отражения и преломления, в том числе и двойного лучепреломления. Однако объяснить прямолинейное распространение света Гюйгенсу не удалось. Это стало решающим аргументом в пользу корпускулярной теории, которая была доминирующей весь последующий XVIII в. И только в XIX в. вновь было обращено внимание на работы Гюйгенса.

В оптике происходит революция, закончившаяся победой волновой теории света. Эта революция связана с именами Томаса Юнга (1773–1829 гг.) и Огюстена Френеля (1788–1827 гг.), а в 1850 г. Арман Физо (1819–1896 гг.) и Жан Фуко (1819–1868 гг.) измерили скорость света.

Разработанная Т. Юнгом и О. Френелем в XIX в. волновая оптика теоретически объяснила все известные оптические явления: прямолинейность распространения света, отражение, дифракцию, интерференцию, поляризацию, дисперсию, двойное лучепреломление.

А в конце XIX в. наиболее прецизионные изменения скорости света были проведены в экспериментах Альберта Майкельсона (1852–1931 гг.). В этих экспериментах скорость света определена в $3 \cdot 10^8$ м/с. Заметим также, что эти опыты, как будет показано ниже, сыграли важнейшую роль в обосновании специальной теории относительности Эйнштейна.

Исследование тепловых явлений. Изучение тепловых явлений по-настоящему начало развиваться только в XVIII в. после изобретения приборов и устройств для измерения температуры — термометров и количества теплоты — калориметров. Кроме того, такие исследования получили большой стимул в связи с запросами практики, поскольку в XVIII в. важнейшим достижением техники было изобретение паровых машин.

Первые практически пригодные термометры были изобретены только в XVIII в. Наиболее удачные варианты термометров с различными температурными шкалами были разработаны Габриелем Даниэлем Фаренгейтом (1686–1736 гг.), Рене де Реомюром (1683–1757 гг.) и Андерсом Цельсием (1701–1744 гг.).

В дальнейшем, в XIX в. была принята более удобная в ряде случаев температурная шкала, так называемая термодинамическая шкала, предложенная в 1848 г. Уильямом Томсоном (лордом Кельвином, 1824–1907 гг.), в которой абсолютный нуль соответствует $-273,2$ °С. Шкала Кельвина наиболее удобна для описания тепловых процессов и законов теплового излучения.

Изобретение термометра дало возможность заняться количественными исследованиями тепловых явлений. Постепенно выяснилось, что теплота имеет две меры — температуру и количество теплоты.

К 80-м гг. XVIII в. сложились основные понятия учения о теплоте. В вышедшем в 1783 г. сочинении “Мемуары о теплоте” французских ученых Антуана Лавуазье (1743–1794 гг.) и Пьера Лапласа (1749–1827 гг.), подводящем итог развития учения о теплоте к этому времени, понятия температуры, количество теплоты, теплоемкости и т. д. считаются установленными.

Следующим этапом явились исследования по изучению явления теплопередачи. Было установлено, что этот процесс

осуществляется различными способами, имеющими разную физическую природу. Возникли два самостоятельных понятия — теплопроводности и теплового излучения.

Что касается теплопроводности, то во второй половине XVIII в. начали проводиться теоретические и экспериментальные исследования этого явления, а в начале XIX в. французским ученым Жан-Батистом Фурье (1768–1830 гг.) была создана теория теплопроводности. Работы по тепловому излучению получили развитие позже, уже в XIX в., и завершились установлением основных законов теплового излучения Людвигом Больцманом (1844–1906 гг.), Вильгельмом Вином (1864–1926 гг.), Максом Планком (1858–1947 гг.).

В XVIII в. начинались систематические исследования расширения тел при нагревании. Особенно это было важно для газов, в свете появившегося интереса к изучению физических процессов в паровых машинах. В результате было открыто несколько газовых законов для различных термодинамических условий — изотермического, изобарического, изохорического, адиабатического.

На повестку дня были поставлены вопросы получения максимального коэффициента полезного действия тепловых машин. Одним из первых эту проблему решил Никола Леонар Сади Карно (1796–1832 гг.).

В 1824 г. выходит его сочинение “Размышления о движущей силе огня и о машинах, свободных развивать эту силу”, где он предложил “идеальный” цикл работы тепловых двигателей и доказал, что их эффективность определяется в “идеальном двигателе” только температурами нагревателя (T_1) и охладителя (T_2), а коэффициент полезного действия (η) в этом случае будет равен $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$.

Представления Карно о тепловых процессах были в дальнейшем развиты Бенуа Клапейроном (1799–1864 гг.), Кельвином и Рудольфом Клаузиусом (1822–1888 гг.).

Изучение процесса превращения механическими системами теплоты в работу и обратно и установление механического эквивалента теплоты сыграли основную роль в открытии и обо-

сновании закона сохранения и превращения энергии. Хотя идею этого закона высказывали многие ученые, приоритет оформления идеи в важнейший физический закон принадлежит двум немецким ученым-медикам Роберту Майеру (1814–1878 гг.) и Юлиусу Герману Гельмгольцу (1821–1897 гг.) и английскому физику Джеймсу Джоулю (1818–1889 гг.).

Открытие закона сохранения и превращения энергии сыграло решающую роль в последующих исследованиях процессов превращения теплоты в работу, что привело к созданию основ термодинамики. Ведущую роль здесь сыграли работы Р. Клаузиуса, опубликованные в 1864–1867 гг.

Основу термодинамики составили два основных закона — “начала”. Первое начало термодинамики — это применение к тепловым процессам закона сохранения энергии. Согласно первому началу термодинамики термодинамическая система может совершать работу только за счет своей внутренней энергии или каких-либо внутренних источников энергии.

Второе начало в формулировке Клаузиуса следующее: “Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более тепловому”. Второе начало термодинамики отражает идеи Л. Н. С. Карно о невозможности полного превращения тепла в механическое движение и звучит следующим образом: “Невозможно построить тепловую машину с КПД, равным 100%”.

Развивая свои термодинамические идеи, Клаузиус в 1865 г. предложил новое физическое понятие для определения меры рассеяния энергии — энтропию S (от греч. *entropía* — “превращение”). $S = \frac{Q}{T}$, а изменение энтропии $dS = dQ/T$. Оказалось, что с помощью энтропии удобно рассматривать направление протекания тепловых процессов, и был установлен закон возрастания энтропии. Общая формулировка этого закона следующая: “В замкнутых изолированных системах при необратимых процессах энтропия может только возрастать”. Это также одна из формулировок второго начала термодинамики. Изменение энтропии всегда положительно указывает на асимметрию при-

родных явлений, т. е. на однонаправленность происходящих в ней процессов.

Дальнейшее развитие термодинамика получила в работах Дж. У. Гиббса и Л. Больцмана. Гиббс создал математическую, аналитическую термодинамику в 1875–1878 гг., используя метод термодинамических функций и введя понятия энтальпии, свободной энергии и термодинамического потенциала Гиббса. Разработанный подход Гиббса широко используется до сих пор не только в физике, но и в химии.

Л. Больцман — основоположник статистической физики — обосновал второе начало термодинамики в рамках разработанной им молекулярно-кинетической теории тепловых процессов. Он открыл связь между энтропией и вероятностью состояния системы.

Закон возрастания энтропии получил у Больцмана простую интерпретацию: “Система стремится к наиболее вероятному состоянию”. Таким образом, второе начало термодинамики становится законом статистическим.

В дальнейшем М. Планк дал простой вывод соотношения между энтропией и вероятностью. Оно имеет следующий вид $S = K \ln W$, где S — энтропия, W — вероятность, K — постоянная Больцмана (так ее назвал Планк).

Таким образом, во второй половине XIX в. окончательно утвердился молекулярно-кинетический взгляд на тепловые процессы, а сама теплота стала пониматься как одна из форм движения материи (наряду с механической, химической, электромагнитной, ядерной).

Электромагнитные явления. После исследований Уильяма Гильберта (1544–1603 гг.) (он первым ввел термин “электричество”) в течение более ста лет в учении об электричестве и магнетизме практически не было получено никаких новых данных. Но уже в первой половине XVIII в. произошли существенные изменения в области изучения электромагнетизма. Во-первых, англичанин Стефан Грей (1666–1736 гг.) в 1727 г. открыл явление электропроводимости и все тела разделил на проводники и непроводники. Во-вторых, французский ученый Шарль Франсуа

Дюфе (1698–1739 гг.) в 1734 г. установил существование двух родов электричества. И в-третьих, в период с 1747 по 1754 г. американский ученый и общественный деятель Бенджамин Франклин (1706–1790 гг.) провел целую серию экспериментов с электричеством, которые позволили ему выдвинуть первую теорию, объясняющую электрические явления. В работах Франклина начали формироваться понятия электрического заряда и закона его сохранения.

Во второй половине XVIII в. начались количественные изменения электричества и магнетизма. Вначале были созданы основы электростатики. В 1770-х гг. Генри Кавендиш (1731–1810 гг.), а затем в 1780-х гг. Шарль Кулон (1736–1806 гг.) провели прецизионные измерения силы взаимодействия электрических зарядов. В результате был установлен главный закон электростатики — закон Кулона: $F = q_1 q_2 / R^2$, где F — сила — прямо пропорциональна произведению взаимодействующих зарядов ($q_1 q_2$), и обратно пропорциональна квадрату расстояния (R) между ними. Кулон исследовал также взаимодействие между магнитами.

В конце XVIII — начале XIX вв. начинает изучаться электрический ток, возникает новая область учения об электричестве и магнетизме — электродинамика. Устанавливаются связи между электрическими и магнитными явлениями. Первым это обнаружил датский ученый Ханс Кристиан Эрстед (1777–1854 гг.), который в 1819 г. зарегистрировал действие электрического тока на магнитную стрелку. Открытие Эрстеда вызвало большой интерес и послужило толчком к новым исследованиям. Уже в 1820 г. французы Жан Батист Био (1771–1862 гг.) и Феликс Савар (1791–1841 гг.) установили закон действия прямолинейного проводника с током на магнитную стрелку.

В том же 1820 г. французский ученый Андре Ампер (1775–1836 гг.) провел эксперименты по взаимодействию двух прямолинейных проводников с током, а также изучил взаимодействие соленоида (катушки с током) и магнита. В результате он доказал возможность получения тождественных магнитных полей от кругового тока (рис. 1,а) и от постоянного магнита (рис. 1,б)

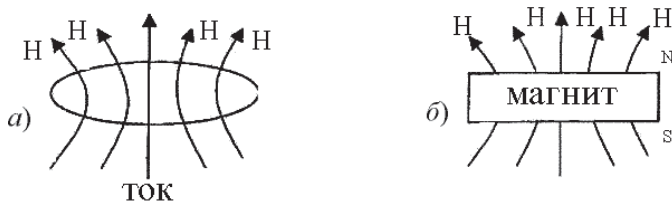


Рис. 1. Опыты Ампера:

а — с круговым током; *б* — с постоянным магнитом

Эти опыты привели Ампера к важному заключению о том, что природа магнетизма обусловлена электрическим током и можно говорить об единых электромагнитных явлениях.

Еще более тесную связь между электрическими и магнитными явлениями установил английский физик Майкл Фарадей (1791–1867 гг.), который начал исследования электричества и магнетизма, закончившиеся открытием в 1831 г. важнейшего явления в области электродинамики — явления электромагнитной индукции. Фарадей рассуждал, что если электрический ток способен вызывать магнитное действие, то и магнетизм должен вызывать электрические явления. Дальнейшие исследования электромагнетизма привели Фарадея к коренному пересмотру существовавшего в то время взгляда на природу материи. Он пришел к пониманию существования новых неизвестных ранее видов материи в виде электрического (Е) и магнитного (Н) поля.

Другим важным достижением Фарадея явилась его идея о дискретности электрического заряда, которую он выдвинул, изучая химическое действие электрического тока и явление электролиза. В дальнейшем Джозеф Томсон (1856–1940 гг.) доказал существование электронов.

Представления Фарадея об электромагнитном поле как о новом, ранее неизвестном виде материи были впоследствии развиты знаменитым английским ученым Джеймсом Максвеллом (1831–1879 гг.). Максвелл обобщил основные сведения об электромагнитных явлениях и создал законченную строгую математическую теорию электромагнетизма.

Основная идея Максвелла заключалась в том, что изменяющееся во времени магнитное поле должно приводить к появлению переменного электрического поля, а переменное электрическое поле должно, в свою очередь, приводить к появлению переменного магнитного поля. Следовательно, существует взаимозависимое единое электромагнитное поле, которое может распространяться в пространстве в виде электромагнитной волны.

Уравнения Максвелла позволяют сделать целый ряд важнейших выводов. Одним из главных выводов является то, что электромагнитные волны — это поперечные волны, распространяющиеся со скоростью света. С другой стороны, теория Максвелла, доказала, что видимый свет — это электромагнитные волны в определенном интервале длин волн.

При жизни Максвелла его теория не получила всеобщего признания ввиду ее математической сложности, считалась непонятной. Решающую роль в победе теории Максвелла сыграл немецкий физик Генрих Герц (1857–1894 гг.). Он экспериментально получил электромагнитные волны, существование которых следовало из теории Максвелла. Он также провел эксперименты по распространению, отражению и поляризации электромагнитных волн и доказал их тождество со световыми волнами. А затем российский физик П. Н. Лебедев (1866–1912 гг.) в 1899 г. измерил предсказанное теорией Максвелла световое давление.

И триумфом электродинамики Максвелла стало широкое использование электромагнитных волн после изобретения радио в 1895 г. А. С. Поповым (1859–1906 гг.) и Гульельмо Маркони (1874–1937 гг.).

Подводя итог развития физики в XVIII–XIX вв., следует выделить по крайней мере две главные особенности этого периода.

Во-первых, это было время завершения построения так называемой классической физики, классической аналитической механики, создания волновой теории Гюйгенса–Френеля, объясняющей все известные в то время оптические явления, создания молекулярно-кинетической теории тепловых процессов на основе развития методов статистической физики и, наконец,

создания теории электродинамики Максвелла, которая объединила электромагнетизм и оптику.

Во-вторых, к концу XIX в. физика выдвинулась в качестве лидера среди всех естественно-научных дисциплин как своей стройностью и логической завершенностью созданных научных теорий, так и методологическим подходом, заключающемся в строгом математическом обосновании и выражении всех установленных законов; физика стала образцом “точной науки” для всех естественных наук.

2.1.4. Физика XX в.

К концу XIX в. у большинства физиков складывалось впечатление, что все основные проблемы в физике уже решены — сформировались взгляды на природу материи (вещество и поле) и на процессы взаимного превращения различных форм движения материи (механической, тепловой, химической, электромагнитной). Единственным “темным местом”, пожалуй, оставался вопрос о структуре “кирпичиков” вещественной материи — атомов вещества.

А то, что атомы, по-видимому, являются не неделимыми, как это считалось раньше, а могут иметь определенную структуру, следовало из некоторых новых явлений и фактов, обнаруженных практически одновременно в самом конце XIX в. К таким фактам следует отнести открытие в 1895 г. X-лучей Вильгельмом Конрадом Рентгеном (1845–1923 гг.) (рентгеновских лучей), затем открытие менее чем через полгода (в марте 1896 г.) явления радиоактивности Антуаном Анри Беккерелем (1852–1908 гг.). А открытие Дж. Томсоном в 1897 г. электрона, имеющего массу во много раз меньше массы самого легкого атома водорода, показало, что в природе имеются частицы гораздо более мелкие, чем атомы.

Именно эти открытия и наблюдения, полученные М. Планком в 1900 г. при изучении абсолютно черного тела, а также объяснение Альбертом Эйнштейном (1879–1955 гг.) в 1905 г. фотоэффекта, явились основой для проникновения в мир атомов, ставшем главным направлением развития физики XX в.

Изучение мира атома привело к кардинальной перестройке наших представлений об основаниях мироздания, к подлинной революции представлений о пространстве и времени, о материи и движении.

Развитие физики в XX в. шло по всем трем условно выделенным направлениям: микрофизика, макрофизика и мегафизика, соответствующим трем принятым уровням организации материи — микро-, макро- и мегамиры. При этом, как будет видно из дальнейшего, наиболее широкий фронт исследований касался изучения микромира (мира молекул, атомов, атомных ядер и элементарных частиц), в результате чего был открыт новый мир физической реальности с его своеобразными квантово-механическими, статистическими законами.

Огромный прорыв принципиального значения произошел в XX в. также в изучении мегамира, в астрофизике, что позволило сделать ряд новых фундаментальных выводов в космологии и космогонии.

Большие успехи были достигнуты также и макрофизике, прежде всего в вопросах изучения свойств вещества в экстремальных условиях, приведшие к обоснованию и развитию множества новых направлений исследований прикладного характера.

XX в. можно смело назвать эпохой величайших открытий в физике. В это время были созданы теория относительности и квантовые теории. Был открыт целый мир элементарных частиц. Открыты такие удивительные явления, как сверхпроводимость и сверхтекучесть и многое-многое другое. Физика в XX в. развивалась очень быстро, поэтому и объем относящейся к ней информации рос невиданными темпами.

Сейчас при таком разнообразии направлений и объеме исследований трудно дать даже краткую историческую справку развития физики XX в. Поэтому дальнейшее изложение развития физики в XX в. не претендует на точное историческое описание, но, тем не менее, по нашему мнению, дает некоторую приблизительную картину развития основных направлений. За основу такого подхода взята хронология присуждения Нобелев-

ских премий по физике в XX в., которые, как правило, ежегодно присуждаются за наиболее выдающиеся достижения.

Нобелевская премия была учреждена в 1900 г. и с 1901 по 2000 г. ею была отмечена 101 работа и награждены 159 лауреатов.

Первым лауреатом в 1901 г. был В. К. Рентген (за открытие рентгеновских лучей), лауреатами 2000 г. были Ж. И. Алферов (Россия), Герберт Кремер (США), и Джек Килби (США) (за основополагающие работы в области информационных и коммуникативных технологий — имеются в виду гетероструктуры в полупроводниках, т. е. некоторый класс полупроводниковых переходов, широко применяемых во многих новейших технологических и технических разработках).

Ниже приведем статистическую справку о большинстве премированных работ, которая дает определенное представление об основных направлениях исследований в XX в.

Так, из 101 премии 44 были присуждены за теоретические и экспериментальные исследования в области атомной и ядерной физики. Еще 32 премии были присуждены за разработку новых методов и приборов для исследований микропроцессов. Таким образом, за работы в области атомной, ядерной физики и физики элементарных частиц присуждено 76 премий.

Из оставшихся 25 премий 6 были присуждены за работы в области астрофизики, 8 — за исследование свойств веществ в экстремальных условиях (сверхвысоких давлений и сверхнизких температур), 2 — за исследование полупроводников, и наконец, 9 премий — за реализацию отдельных, в основном, научно-технических проектов (создание высокоточных оптических систем, открытие цветной фотографии, создание беспроводного телеграфа, изобретение устройства для автоматического зажигания маяков, изобретение голографии и некоторых других).

Очевидно, что все работы, удостоенные Нобелевской премии, обсудить невозможно. Но все же представляется целесообразным выделить среди них наиболее выдающиеся, которые оставили наибольший след в развитии физики XX в. по ряду направлений (микрофизика, мегафизика и макрофизика).

Микрофизика. Ниже приведем их в хронологическом порядке, что даст представление об основных этапах и логике развития исследований в области атомной и ядерной физики. Учитывая, что в ряде случаев Нобелевские премии были присуждены через много лет после того, как были получены основные результаты, укажем две даты — год проведения исследований и год присуждения премии.

За теоретические и экспериментальные работы:

1. В. К. Рентген, за открытие в 1895 г. рентгеновских лучей (премия 1901 г.).

2. А. А. Беккерель, за открытие радиоактивности в 1896 г. (премия 1903 г.).

3. Дж. Томсон, за открытие электрона в 1897 г. (премия 1906 г.).

4. Э. Резерфорд, за открытие радиоактивных превращений элементов, а также α - и β -излучений в 1899 г. (премия 1908 г.).

5. М. Планк, за открытие дискретности энергии излучения (кванта энергии) в 1900 г. (премия 1918 г.).

6. А. Эйнштейн, за открытие закона фотоэффекта на основе представления о квантах света (корпускулярно-волновой дуализм света) в 1909 г. (премия 1921 г.).

7. Н. Бор, за первую квантовую модель атома в 1913 г. (премия 1922 г.).

8. Л. де Броль, за корпускулярно-волновой дуализм всех частиц микромира в 1923 г. (премия 1929 г.).

9. В. Гейзенберг, за создание математической (матричной) теории квантовой механики в 1925 г. (премия 1932 г.).

10. Э. Шредингер, за создание математической (волновой) теории квантовой механики в 1926 г. (премия 1933 г.).

11. М. Борн, за исследования в квантовой механике, статистическую (вероятностную) интерпретацию волновой функции в 1926 г. (премия 1954 г.).

12. П. Дирак, за создание релятивистской квантовой механики, предсказавшей существование античастиц, в 1928 г. (премия 1933 г.).

13. Дж. Чедвик, за открытие нейтрона в 1932 г. (премия 1935).

14. К. Д. Андерсен, за открытие позитрона в 1932 г. (премия 1936 г.).

15. Э. Ферми, за открытие в 1930-е гг. реакции деления атомных ядер, вызываемой медленными нейтронами, явившееся начальным этапом по овладению ядерной энергией (премия 1938 г.).

16. Х. Юкава, за теоретическое обоснование существования мезонов в 1935 г. (премия 1949 г.).

17. С. Томонага, Р. Ф. Фейнман, Дж. Швингер, за создание квантовой электродинамики (теории поля) в 1948 г. (премия 1965 г.).

18. Э. Серге, О. Чемберлен, за открытие антипротона в 1955 г. (премия 1959 г.).

19. М. Гелл-Манн, за классификацию элементарных частиц и их взаимодействий (включая гипотезу кварков) в 1964 г. (премия 1969 г.).

20. С. Вайнберг, Ш. Глэшоу, А. Салам, за создание теории электрослабых взаимодействий, объединившей электромагнитные и слабые взаимодействия, в 1967 г. (премия 1979 г.).

21. С. Ван дер Мер, К. Руббиа, за открытие новых частиц — векторных бозонов (W^\pm и Z^0), подтвердившее теорию электрослабых взаимодействий, в 1983 г. (премия 1984 г.).

За создание новых методов и аппаратуры, обеспечивших экспериментальные исследования в области атомной и ядерной физики:

1. Ч. Т. Р. Вильсон, за создание детектора атомных частиц, позволяющего визуально наблюдать траектории заряженных частиц, — камеры Вильсона в 1912 г. (премия за 1927 г.).

2. У. Г. Брэгг, У. Л. Брэгг, за создание метода рентгеноструктурного анализа в 1913 г. (премия 1915 г.).

3. К. Дж. Дэвисон, Дж. Томсон, за открытие дифракции электронов, заложившее основы электронографии, в 1927 г. (премия 1937 г.).

4. Э. О. Лоуренс, за изобретение и создание циклотрона в начале 1930-х гг. (премия 1939 г.).

5. О. Штерн, за развитие метода молекулярных пучков в 1933 г. (премия 1943 г.).

6. И. А. Раби, за создание резонансного метода измерения магнитных свойств атомных ядер (ЯМР) в 1937 г. (премия 1944 г.).

7. С. Ф. Пауэлл, за создание детекторов элементарных частиц на основе использования многослойных фотоэмульсий и открытие π -мезонов в 1947 г. (премия 1950 г.).

8. П. Куш, за точное определение магнитного момента электрона в 1948 г. (премия 1955 г.).

9. И. Е. Тамм, И. М. Франк, П. А. Черенков, за открытие и исследование эффекта Черенкова, послужившего основой для создания детекторов элементарных частиц (черенковских счетчиков), в 1934 г. (премия 1958 г.).

10. Д. А. Глезер, за изобретение пузырьковой камеры — высокоэффективного детектора элементарных частиц в 1952 г. (премия 1960 г.).

11. А. Кастлер, за создание оптических методов изучения резонансов Герца в атомах в 1952 г. (премия 1966 г.).

12. Р. Л. Мессбауэр, за открытие резонансного поглощения гамма-излучения (эффект Мессбауэра), послужившего основой для создания высокоэффективного метода исследования в атомной физике, в 1958 г. (премия 1961 г.).

13. Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Ч. Х. Таунс, за создание квантовых генераторов и усилителей (лазеров и мазеров) в 1955–1960 гг. (премия 1964 г.).

14. Г. Биннинг и Г. Рорэр, за создание сканирующего туннельного микроскопа (премия 1986 г.).

15. М. Перл, за открытие τ -лептона.

16. Ф. Рейнес, за обнаружение нейтрино (премия 1995 г.).

В области изучения мегамира:

1. Х. А. Бете, за открытия, касающиеся источников энергии звезд, в 1938 г. (премия 1967 г.).

2. Х. Альфвен, за магнитогидродинамические открытия и плодотворные приложения их в физике в 1950 г. (премия 1970 г.).

3. М. Райл, Э. Хьюиш, за новаторские работы по радиофизике, 1960-е гг. (премия 1974 г.).

4. Р. В. Вильсон, А. А. Пензиас, за открытие микроволнового реликтового излучения в 1965 г. (премия 1978 г.).

5. С. Чандрасекар за работы в области строения и эволюции звезд, 1967 г. (премия 1983 г.).

6. Дж. Тейлор (младший), Р. Хале, за открытие двойных пульсаров (премия 1993 г.).

Изучение свойств вещества в экстремальных состояниях:

1. Г. Камерлинг-Оннес, за исследование свойств вещества при низких температурах и получение жидкого гелия в 1908 г. (премия 1913 г.).

2. П. У. Бриджмен, за открытия в области физики высоких давлений в 1930-х гг. (премия 1946 г.).

3. Л. Д. Ландау, за теории конденсированной материи (в особенности жидкого гелия), в 1940-х гг. (премия 1962 г.).

4. Дж. Бардин, Л. Купер, Дж. Шриффер, за создание теории сверхпроводимости в 1957 г. (премия 1972 г.).

5. П. Л. Капица, за фундаментальные открытия в области физики низких температур в конце 1930-х гг. (премия 1978 г.).

6. Г. Беднорц, К. Мюллер, за открытие сверхпроводимости керамических материалов (премия 1987 г.).

7. Д. Ли, Д. Ошерофф, Р. Ричардсон, за открытие сверхтекучести изотопа гелия-3 (премия 1996 г.).

Изучение полупроводников:

1. Дж. Бардин, У. Браттейн, У. Б. Шокли, за открытие транзисторного эффекта в 1948 г. (премия 1956 г.).

2. А. Джайевер, Л. Эсаки, за исследование и применение туннельного эффекта в полупроводниках и сверхпроводниках в 1962 г. (премия 1973 г.)

3. Ж. И. Алферов, Г. Кремер, за разработки полупроводниковой техники информационных и коммуникативных технологий в 1980–1990-х гг. (премия 2000 г.)

2.1.5. Краткая история химии

Считается, что слово “химия” происходит от названия Древнего Египта Хемма. Следовательно, начало истории химии связывается с развитием древнеегипетской цивилизации.

Очевидно, что первоначальное накопление знаний о различных веществах и их свойствах, а также о процессах получения новых веществ, что в дальнейшем станет одной из задач химии, происходило стихийно еще в глубокой древности. Так, использование огня и глины привело к развитию гончарного производства, а использование огня и кварца — к изготовлению стекла и т. д.

С VII тысячелетия до н. э. начали использоваться первые металлы, сначала медь (бронзовый век), а затем и железо. В V тысячелетии до н. э. начинается плавка медных руд и происходит освоение рудного дела. Во второй половине IV тысячелетия до н. э. было освоено железнорудное дело, а с конца II тысячелетия до н. э. началось массовое производство железных изделий. Кроме меди, бронзы и железа древние знали такие металлы, как олово, свинец, ртуть и их сплавы.

Таким образом, первоначально накопленные отдельные химические знания в области прикладной ремесленной химии были достаточно обширны. Однако понимание химических явлений и их объяснение на начальном этапе происходило на сложившейся в то время мифологической основе.

Античный период и Средние века

В VI в. до н. э. в древнегреческой культуре постепенно складывается представление о единстве мира, о том, что в основе вещей и предметов материального мира лежит одно или всего лишь несколько основных первичных первоэлементов — элементов.

Фалес считал, что началом всех вещей, их субстанцией (т. е. тем, из чего возникают все вещи и во что они в конечном итоге превращаются) является вода.

Анаксимен (585–525 гг. до н. э.) считал основой, субстанцией мира воздух. Разряжаясь, воздух становится сначала огнем, затем эфиром, а сгущаясь — ветром, облаками, водой, землей и камнем.

Гераклит (ок. 540–480 гг. до н. э.) видел первооснову в огне, который по тем представлениям считался самым подвижным и изменчивым веществом.

Эмпедокл (ок. 490 — ок. 430 гг. до н. э.), объединив идеи своих предшественников, добавил к указанным ими трем (вода, воздух, огонь) основным видам материи еще и землю и допустил существование четырех начал (или “корней”), которые он назвал элементами.

В античный период возникло также и совершенно другое философское направление, пытавшееся объяснить строение материи на основе атомистической гипотезы. Первым выдвинул атомистическую гипотезу строения веществ Левкипп (V в. до н. э.), затем более детально обосновал и развил эту идею его ученик Демокрит (ок. 460 до н. э. — ок. 370 гг. до н. э.).

Основные положения его атомистического учения следующие:

1. Все тела природы построены из мельчайших твердых непроницаемых и неделимых частиц, которые он назвал атомами (слово “атом” в переводе с греческого означает “неделимый”), и пустого пространства между ними.

2. Атомы обладают способностью вечного движения, сами они вечны, неуничтожимы.

3. Атомы могут быть бесконечно разнообразны по форме и величине, но все состоят из одной и той же материи.

4. Различие между веществами зависит только от различия в числе, форме и порядке сочетания и расположения атомов, из которых они образованы.

Другое развитие учения об элементах — началах получило в философии Аристотеля. Учение Аристотеля оказало большое влияние на развитие естествознания более чем на тысячелетний период.

Аристотель считал, что в основе всего материального бытия лежит первоматерия. Она вечна, не может возникнуть из ничего и превратиться в ничто, ее количество в природе неизменно. Первоматерии присуще четыре основных качества, воспринимаемые нашими органами чувств и попарно противоположные

друг другу. Это — тепло и холод, а также сухость и влажность. Разнообразие веществ зависит от сочетания этих качеств в различных пропорциях. Комбинируя качества попарно, Аристотель приходит к четырем элементам Эмпедокла — земле, воде, огню и воздуху (рис. 2).

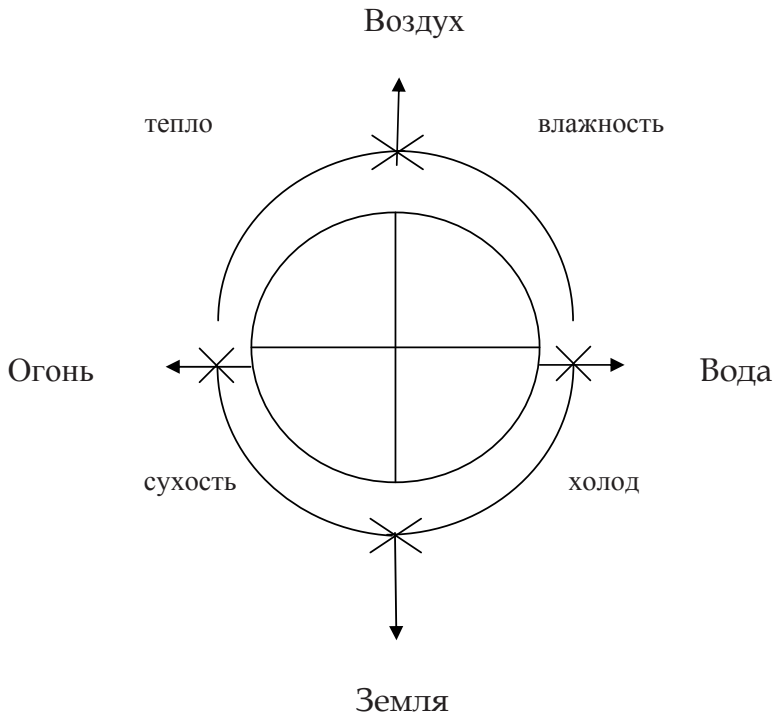


Рис. 2. Основные качества первоматерии, по Аристотелю

По представлениям Аристотеля, основные качества нераздельно связаны с первичной материей — их можно отнимать от нее или прибавлять к ней. Так, например, нагревая воду, мы отнимаем у нее холод и придаем ей тепло, в результате вода испаряется, то есть превращается, как сказал бы Аристотель, в воздух. Из этого делается вывод, что один элемент может перейти в другой. Искусство создания различных веществ сводилось,

таким образом, к соединению определенных качеств. Учение Аристотеля об элементах — свойствах было в дальнейшем развитии по-своему в алхимии.

По общепринятому мнению, химия как собрание различных сведений о веществах и их превращениях возникла в начале нашей эры, в Александрии. Трактаты, написанные в Александрии в I в. н. э., содержали много химических сведений. Там же возникла идея о возможности превращения неблагородных металлов в золото. Идея, которая надолго увлекла химию на путь бесплодных исканий, затормозив ее развитие.

После завоевания в VII в. н. э. Египта и стран Востока арабами часть накопленных в Александрии практических химических знаний сохранилась. Употреблявшееся александрийскими учеными слово “химия” путем прибавления к нему арабской приставки “ал” превратилось в “алхимию”. Основной идеей алхимии стала идея о превращении неблагородных металлов в золото.

Средние века проходят в Европе в попытках осуществить эту идею. В русле этого “развития” арабские алхимики сформулировали идею “философского камня” — гипотетического вещества, ускоряющего “созревание” золота. Это вещество считалось также эликсиром жизни, дающим бессмертие.

Расцвет средневековой алхимии пришелся на XIV–XV вв. В этот период, несмотря на бесплодность “теоретических” умозаключений, были получены значительные достижения в области практической, технической химии. К ним относятся способы получения серной, азотной, соляной кислот, селитры, “царской водки”, сплавов ртути с металлами. К этому периоду относятся и создание предпосылок для развития нового направления в химии — ятрохимии (медицинской химии) — области знаний, которая ставила целью изготовление лекарственных веществ.

К XVII в. стало ясно, что главные цели алхимии — получение золота, серебра, “философского камня” — оказались недостижимы. Все более укреплялось мнение о том, что лежащие в основе химии идеи Аристотеля о природе вещей как совокупности не-

которых субстанций — качеств и элементов — стихий неверны, бытующее среди алхимиков представление о неограниченных возможностях превращения одних веществ в другие также неверно. Становилось ясно, что существует некоторый предел возможных взаимопревращений веществ. Постепенно химия начинает освобождаться от влияния учения Аристотеля и многих заблуждений алхимиков, в том числе от веры в “философский камень”, от схоластического подхода к изучению природы и строить свои выводы на основе новых подходов.

Такие подходы связаны с возрождением античного атомизма Демокрита. Здесь важную роль сыграли труды французского мыслителя Пьера Гассенди (1592–1655 гг.). Гассенди ввел также понятие “молекула”, которое обозначало соединение атомов. Развитие и конкретное приложение идей атомизма осуществил английский физик и химик Роберт Бойль (1627–1691 гг.). Его работа “Химик-скептик” была опубликована в 1691 г. По учению Бойля, элементами следует считать “те простейшие тела, из которых составлены сложные тела и к которым мы, в конце концов, приходим, разлагая последние”. Бойль, по сути, впервые выдвинул гипотезу, что свойства веществ определяются составом этих веществ.

Однако потребовалось еще около 100 лет, чтобы химия окончательно избавилась от Аристотелева представления о строении вещества и вышла на путь атомистического понимания.

Период классической химии

С середины XVIII и до конца XIX в. развитие химии шло под знаком все большего утверждения атомно-молекулярного взгляда на природу вещей. Исторически наиболее последовательно основы атомно-молекулярного учения были изложены в 1741 г. М. В. Ломоносовым (1711–1765 гг.) в одной из его первых работ “Элементы математической химии”. Но основной заслугой М. В. Ломоносова является то, что он одним из первых химиков точными количественными опытами обосновал фундаментальнейший закон природы — закон сохранения материи.

В 1773 г. А. Лавуазье повторил некоторые опыты Ломоносова и получил результаты, близкие к его результатам, которые изложил в 1789 г. в своем обобщающем все достижения химии того времени труде “Элементарный учебник химии”. Произведя количественные анализы различных веществ, Лавуазье пришел еще к одному очень важному выводу: при химических реакциях не только сохраняется общая масса веществ, как это доказал Ломоносов, но и масса каждого из элементов, входящих в состав взаимодействующих веществ, остается постоянной. Следовательно, химические элементы не превращаются друг в друга. Этот вывод положил предел всякого рода алхимическим попыткам заниматься превращением элементов. Косвенно он свидетельствовал также о существовании атомов и о сохранении их массы при химических реакциях.

Затем на рубеже XVIII и XIX вв. был открыт целый ряд новых важнейших законов химии, которые полностью утвердили атомно-молекулярную концепцию строения вещества. Среди них необходимо указать следующие четыре закона:

1. Закон постоянства состава, одна из формулировок которого звучит так: “При образовании данного вещества элементы всегда соединяются друг с другом в строго определенном весовом отношении”. Этот закон открыл французский химик Жозеф Луи Пруст (1754–1826 гг.) в период с 1800 по 1808 г.

2. Закон кратных отношений, установленный в 1803 г. английским химиком Джоном Дальтоном (1766–1844 гг.): “Если два элемента образуют друг с другом несколько химических соединений, то весовые количества одного из элементов, входящие в этих соединениях на одно и то же количество другого, относятся между собой как простые целые числа”.

3. Закон простых объемных отношений, установленный в период с 1804 по 1808 г. французским ученым Жозефом Луи Гей-Люссаком (1778–1850 гг.): “Объемы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу и к объемам образующихся газообразных продуктов реакции как небольшие целые числа”.

4. Итальянский физик Амедео Авогадро (1776–1856 гг.) в 1811 г. установил следующий закон: “В равных объемах любых

газов, взятых при одинаковой температуре и одинаковом давлении, содержится одинаковое число молекул”.

Все эти законы, с одной стороны, нашли объяснение в рамках атомно-молекулярного учения, а с другой стороны, послужили и серьезным его обоснованием.

Таким образом, в середине XIX в. атомно-молекулярный взгляд на природу материи получил полное признание. Этим подводился итог развитию представлений того времени о природе веществ. Обоснование и доказательство атомно-молекулярного строения вещества вышло далеко за пределы химии и с середины XIX в. стало одной из основ всего естествознания.

Дальнейшее развитие атомно-молекулярного учения произошло в физике в начале XX в., когда была выяснена структура атомов и молекул, а также получен целый ряд принципиально новых фундаментальных результатов, существенно расширивших наши представления о строении вещества.

Атомно-молекулярная теория внесла, в частности, значительную ясность и определенность в одно из важнейших понятий химии — понятие о химическом элементе. С точки зрения атомно-молекулярной теории химический элемент — это вид атомов, характеризующейся определенной совокупностью свойств.

Изучение состава веществ и свойств элементов привело Д. И. Менделеева (1834–1907 гг.) к открытию и обоснованию в 1868 г. периодического закона. Это стало самым важным событием в химии после утверждения атомно-молекулярной теории.

Если подвести краткий итог развития химии за три столетия (XVII–XIX вв.), то в этот продолжительный период решалась, по сути, всего одна главная проблема — проблема о составе вещества. Поэтому Менделеев и назвал химию своего времени “наукой о химических элементах и их соединениях”. Было выяснено, что свойства веществ определяются их составом. Сейчас это положение определяется как первый уровень научных химических знаний.

Отметим ряд важных работ, заложивших основы дальнейшего развития химии в последующем, XX в. Речь идет прежде всего о

двух важных направлениях в развитии химии — о так называемой структурной химии и об учении о химических процессах.

По первому направлению отметим работы немецкого химика Фридриха Августа Кекуле (1829–1886 гг.). Кекуле стал связывать структуру молекул с понятием валентности элементов или числа единиц сродства. Комбинируя атомы различных химических элементов по их валентности, можно прогнозировать получение различных химических соединений в зависимости от исходных реагентов.

Понятие структуры молекулы, согласно Кекуле, сводится, таким образом, к построению наглядных формульных схем, которые могут служить конкретным указанием, как, из каких исходных реагентов следует получать целевой продукт. Таким путем можно было выяснить возможность проведения синтеза различных веществ с заданными свойствами.

Однако в дальнейшем было установлено, что на практике не все теоретически возможные, по Кекуле, реакции на самом деле могут происходить. Причину этого объяснила теория химического строения А. М. Бутлерова (1828–1886 гг.), который показал, что нужно учитывать не только правила составления химических формул по Кекуле, но и химическую активность реагентов, “большую или меньшую энергию, с которой сродство связывает вещества между собой”. Бутлеровым была выдвинута важная идея об энергетической неэквивалентности различных химических связей атомов в молекулах. Это положение является главным содержанием понятия “структура” в теории Бутлерова. Теория химического строения Бутлерова нашла в дальнейшем физическое обоснование в квантовой механике.

Идеи Кекуле о валентности и Бутлерова об энергетической неэквивалентности химических связей, обусловленных взаимным влиянием атомов в структуре молекулы, превратили химию из науки аналитической, занимающейся изучением состава веществ, в науку синтетическую, способную создавать новые вещества и материалы. В результате в конце XIX в. было синтезировано огромное количество новых, в основном органических веществ.

Несмотря на указанные успехи, структурная химия не дала ответа на вопросы, связанные с путями управления химическими реакциями, осуществления процессов производства многих важных и нужных органических веществ.

Многие из этих задач удалось решать только посредством химической кинетики — новой области химической науки, изучающей скорости химических реакций. В рамках химической кинетики было разработано учение о химических процессах при различных условиях их протекания. Как оказалось, характер и скорость химических реакций зависят от многих условий: от температуры и давления, наличия катализаторов, влияния растворителей, состояния стенок реакторов и др.

Впервые роль катализаторов в качестве посредников в химических реакциях была выявлена в 1811 г. в работах Константина Кирхгофа (1764–1833 гг.). Им с помощью катализатора — серной кислоты — был получен сахар из крахмала.

Зависимости характера протекания химических реакций от давления, температуры и концентрации реагентов впервые были изучены в работах Якоба-Хендрика Вант-Гоффа (1852–1911 гг.) и Анри Луи Ле Шателье (1850–1936 гг.).

В 1884 г. появилась книга Я. Вант-Гоффа (будущего первого Нобелевского лауреата по химии — 1901 г.) “Очерки по химической динамике”, в которой он сформулировал свой закон для так называемых равновесных химических систем (в которых устанавливается равновесие между реакциями, идущими в прямом и обратном направлении).

В этом же году Ле Шателье сформулировал более общий закон, определяющий влияние различных факторов на равновесную систему, известный как принцип Ле Шателье. В применении к химическому равновесию этот принцип можно сформулировать следующим образом: если изменить одно из условий, при которых система находится в состоянии химического равновесия, например температуру, давление или концентрацию, то равновесие смещается в направлении той реакции, которая противодействует произведенному изменению.

Установленные законы дали химикам широкие возможности за счет изменения условий протекания химических процессов управлять химическими реакциями в нужном направлении. А в конце XIX в. американский ученый Джозайя Уиллард Гиббс (1839–1903 гг.) разработал теоретические основы химической термодинамики.

Рассмотренные в настоящем разделе основные достижения химии в области учения о составе вещества, приведшие к открытию периодического закона Менделеева, в области создания основ структурной химии, а также учения о химических процессах, явились завершением так называемой классической химии.

Химия XX в.

В начале XX в. в физике происходят научные открытия такого масштаба, которые изменили в целом естественно-научное мировоззрение. Эти открытия повлияли на развитие всех естественных наук, в том числе и в первую очередь на химию. В их числе — открытие в физике структуры атома, успехи ядерной физики и физики элементарных частиц, создание квантовой механики, открытие новых материальных субстанций природы — физических полей (в том числе электромагнитного поля).

Достижение различных экстремальных состояний вещества, развитие термодинамики (в том числе неравновесной) и ряд других открытий создали совершенно другой научный фундамент в развитии современной химии XX в. Это позволило сформировать целый ряд новых фундаментальных теоретических положений в химии.

В то же время на базе новых физических открытий было создано много новых физических методов исследований: рентгеноструктурный анализ, атомная и молекулярная спектроскопия, электронная микроскопия, нейтроно- и протонография; созданы приборы электронного парамагнитного резонанса, ядерного магнитного резонанса, лазеры и т. д.; существенно изменились сами возможности химических экспериментальных исследований.

В результате открытия в физике новых методов исследования многие направления в химии получили “второе дыхание”. В частности, открытие и изучение структуры атомов в физике позволило глубже понять смысл химического элемента и природе периодического закона Менделеева. Создание квантовой механики в физике позволило создать квантовую химию, на основе которой удалось понять основные законы структурной химии, природу химической связи в молекулах, а также существенно углубить понимание основных химических процессов, связанных с изменением скорости химических реакций.

Развитие неравновесной термодинамики привело к пониманию ряда “загадочных” явлений, обнаруженных в химических процессах, и стимулировало развитие возникшего в середине XX в. новейшего направления в химии — так называемой эволюционной химии.

Учение о составе веществ

Произошло изменение самого понятия химического элемента, а также существенно углубилось содержание периодического закона Менделеева.

Это связано, во-первых, с тем, что были обнаружены изотопы атомов — разновидности одного и того же химического элемента, обладающие одинаковыми химическими свойствами, но отличающиеся массами атомов.

А во-вторых, открытие в физике строения атомов, состоящих из положительно заряженных ядер и вращающихся вокруг них электронов, привело к новому физическому обоснованию периодического закона Менделеева: периодичность в изменении свойств элементов стала рассматриваться не в зависимости от атомной массы (как у Менделеева), а в зависимости от заряда (Z) ядра атомов элементов.

Таким образом, в настоящее время химическим элементом называют вещество, все атомы которого обладают одинаковым зарядом ядра, хотя могут и различаться по своей массе, впоследствии чего атомные веса элементов могут не выражаться целыми

числами. Атомный же вес является средним арифметическим величин масс изотопов, из которых состоит элемент.

Другим аспектом развития учения о составе вещества является искусственное получение новых элементов. Открытие нейтронов в 1932 г. Джеймсом Чедвиком (1891–1974 гг.) и искусственной радиоактивности в 1937 г. Ирен (1897–1956 гг.) и Фредериком (1900–1958 гг.) Жолио-Кюри заложило основы получения новых изотопов и элементов, отсутствующих в естественном состоянии в природе, в том числе и за счет синтеза трансурановых элементов.

Во времена Менделеева было известно 62 элемента. К 1930-м гг. были установлены все элементы от водорода ($Z = 1$) до урана ($Z = 92$). К настоящему времени искусственно создан уже 114-й элемент. Сколько еще элементов может быть получено искусственным путем, современная наука точно не знает. Есть только отдельные теоретические соображения о том, что периодическая таблица элементов должна закончиться либо на 126, либо на 164, либо даже на 184 элементе.

Получение новых элементов, естественно, стимулирует развитие исследований по изучению их химических свойств, а также возможности использования новых элементов для получения новых веществ.

В результате развития на этой основе технической химии было получено большее число веществ и материалов с заранее заданными специальными свойствами (термостойкость, высокая твердость, огнеупорность, электроизоляционные материалы и т. д.); получен также целый ряд соединений, которые широко используются для синтеза других новейших материалов. То есть происходит быстрый процесс саморазвития и производства все большего количества разнообразных химических веществ.

Структурная химия

По мере перехода от элементов с меньшими атомными номерами к элементам с большими их значениями происходит последовательное заполнение электронами оболочек на различных фиксированных расстояниях от ядра. При этом периодически

повторяется сходная структура конфигураций электронов на каждом уровне (“этаже”), от чего в основном и зависит периодичность химических свойств элементов и их соединений.

Изучение структуры атома и создание квантовой механики позволило поднять природу “химизма”, природу сил, действующих в системе атомов и молекул.

В частности, нашла физическое обоснование в квантовой механике и теория химического строения Бутлерова. Сегодня под структурой мы понимаем и пространственную, и энергетическую упорядоченность квантово-механической системы, состоящей из атомных ядер и электронов и обладающей единой молекулярной орбитой. Теперь анализ структур молекул и закономерности их превращений происходят на микроскопическом электронно-ядерном уровне.

По современным представлениям, в молекулах существуют внутренние химические связи, объединяющие атомы в молекулы. В 1916 г. появились первые электронные теории химических связей — ионной и ковалентной.

Немецкий физико-химик Вальтер Коссель (1888–1956 гг.) разработал теорию ионной химической связи. Эти связи являются чисто электрическими. Они появляются при разделении положительных и отрицательных электрических зарядов в отдельных частях молекулярной системы.

Американский физико-химик Гилберт Льюис (1875–1946 гг.) разработал теорию ковалентных химических связей. Она представляет собой обменное взаимодействие обобщенных в молекуле электронов.

Будущий лауреат Нобелевской премии (за 1919 г.) немецкий физик Йоханнес Штарк (1874–1957 гг.) ввел понятие валентных электронов, связав валентность элементов с числом электронов на периферии атома.

На основе квантовой химии удалось объяснить природу химических связей и точно рассчитать энергию связи для некоторых относительно простых молекул. Родоначальниками квантовой химии были немецкий физик Фриц Лондон (1900–1954 гг.) и немецкий физик-теоретик Вальтер Гайтлер (1904–1981 гг.).

Ими был разработан метод атомных орбиталей, рассматривающий целостную электронную структуру молекул.

В 1930-е гг. американский физик и химик, дважды лауреат Нобелевской премии (по физике и по химии) Лайнус Поллинг (1901–1994 гг.) существенно усовершенствовал метод атомных орбиталей, применив его для расчетов сложных молекул. Наибольшую известность ему принесли работы по расчету структуры молекул белков, в частности гемоглобина (Нобелевская премия по химии за 1954 г.).

В дальнейшем это направление получило значительное развитие в трудах американского физика и химика Роберта Малликена (1896–1986 гг.), который в 1966 г. получил Нобелевскую премию по химии с формулировкой “За фундаментальные работы по химическим связям и электронной структуре молекул, выполненные с помощью метода молекулярных орбиталей”.

В середине XX в. получили значительное развитие исследования, направленные на изучение пространственных структур вещества, т. е. были заложены основы стереохимии. Они расширили представления об изометрии — существовании веществ, одинаковых по составу и молекулярной массе, но различающихся по строению или расположению атомов в пространстве.

Затем на основе метода рентгеноструктурного анализа стали широко применяться в исследовании молекулярных структур методы дифракции рентгеновских лучей, электронов, спектроскопические методы и метод ядерного магнитного резонанса, что позволило определить строение большого числа молекул.

В качестве примера комплексного применения современных методов исследований, приведшего к выдающимся достижениям, можно привести открытие в 1953 г. структуры молекулы ДНК в виде двойной спирали Фрэнсисом Криком (1916–2004 гг.) и Джеймсом Уотсоном (род. 1928 г.) — лауреатами Нобелевской премии за 1962 г.

Учение о химических процессах

Изучение химических процессов проходило под знаком глобального взаимопроникновения физики, химии, биологии. Основное

направление работ в данном случае заключалось в создании способов управления химическими реакциями с целью получения необходимых конечных продуктов. Эти способы можно подразделить на термодинамические и кинетические. В первом случае (термодинамические методы) речь идет об управлении направлением протекания реакции, а во втором случае (кинетические методы) об управлении скоростью химических реакций.

Из наиболее значительных работ по химической термодинамике следует указать работы Вальтера Нернста (1864–1941 гг.), получившего Нобелевскую премию 1920 г. за исследование по термохимии, а также работы российского ученого академика Н. Н. Семенова (1896–1986 гг.) за цикл фундаментальных работ, в которых были открыты так называемые цепные реакции. За исследование цепных реакций Н. Н. Семенову в 1956 г. была присуждена Нобелевская премия по химии.

Что касается работ по химической кинетике, то здесь, на начальном этапе этих исследований, прежде всего следует отметить работы Сванте Аррениуса (1859–1954 гг.), лауреата Нобелевской премии за 1903 г.

Затем, в конце 1920-х гг. Ф. Лондон, один из создателей квантовой химии, на ее основе раскрыл сущность и происхождение энергии активации в молекулах, одной из важнейших характеристик для изучения процесса химической кинетики.

В 1952 г. японский ученый Кэниши Фукуи (1918–1998 гг.), используя метод молекулярных орбиталей, выяснил особую роль внешних электронов в течении каталитических реакций. А американский физико-химик Роальд Хофман (род. 1937 г.) развил идею Фукуи и разработал правила сохранения орбитальной симметрии молекул. Оба они стали Нобелевскими лауреатами за 1981 г.

В 1950–1960 гг. была изучена роль катализаторов в построении макромолекул, прежде всего металлоорганических. В 1960-е и последующие годы при изучении квантовых состояний продуктов реакций были получены многие сведения по кинетике элементарных химических реакций методом молекулярных пучков.

В последние годы все больше внимания уделяется изучению опыта катализаторов в живых системах — ферментов. Для создания все большего числа органических соединений широко используются биокатализаторы.

Теоретические представления о сущности катализа служат основой современной каталитической химии и позволяют выделить наиболее перспективные направления, такие как металлокомплексный катализ, межфазный катализ, мицеллярный катализ (посредством коллоидных систем), мембранный катализ (с участием веществ, действующих как молекулярное сито) и катализ посредством ферментоподобных веществ.

Эволюционная химия

Основой этого направления явилось понимание того, что свойства веществ определяются не только их составом, структурой и кинетическими и термодинамическими условиями, но и уровнем химической организации веществ.

Хорошим примером в этом отношении является опыт высокоорганизованной живой природы. В живой природе реализуется принцип самоорганизации химических систем от более простых до исключительно сложных.

Сегодня выяснено, что химическую эволюцию могут обеспечить прежде всего такие элементы, которые могут создать достаточно прочные, энергоемкие химические связи с высокой лабильностью (т. е. возможность их перераспределения в различных условиях).

Этим условиям в наибольшей мере отвечает углерод, атомы которого образуют почти все типы химических связей. Другие элементы — кислород, водород, азот, фосфор и сера — также обладают особыми, уникальными свойствами. В результате внутримолекулярное взаимодействие этих элементов создает исключительное богатство разнообразных химических связей.

Очевидно, что такие особые элементы в результате химической эволюции создали незначительное число особых соединений (некоторые аминокислоты и нуклеотиды), из которых в дальнейшем и образовался сложнейший высокоорганизованный

комплекс — биосистема. В ходе эволюции отбирались те структуры, которые способствовали резкому повышению активности и селективности действия различных катализаторов, которые и являются основой основ органического синтеза. В связи с этим особое внимание химики стали уделять биокатализаторам. Изучение биокатализаторов живой природы — ферментов — привело к развитию исследований в области металлокомплексного анализа, а также в области так называемых иммобилизованных систем, которые позволяют сохранить активность ферментов и стабилизировать их действие.

На основе этих исследований удалось провести моделирование и синтезирование целого ряда биологических структур, в частности целого ряда генов. Например, первый химический синтез гена осуществлен более 20 лет назад. Были синтезированы гены инсулина и интерферона.

В 1950-х гг. были открыты случаи самосовершенствования катализаторов, т. е. открыт автокатализ, когда продукты реакции увеличивали скорость ее протекания в ходе самой химической реакции. Это открытие дало начало новому направлению исследований в так называемой нестационарной кинетике. Был открыт новый тип нестационарности, способствующей интенсификации реакций.

В 1958 г. российский химик Б. П. Белоусов (1891–1970 гг.) в смеси растворов бромата калия, лимонной и серной кислоты и катализатора — сульфата натрия — наблюдал примерно ежеминутное периодическое изменение окраски раствора от желтого до бесцветного в течение нескольких часов подряд.

Изучение нестационарной кинетики сейчас все более проводится в рамках теории саморазвития и самоорганизации открытых каталитических систем, способствующих существенному улучшению свойств катализаторов. Это направление исследований в последние годы стало частью междисциплинарной науки синергетики, созданной Германом Хакеном (р. 1927 г.), и неравновесной термодинамики, созданной И. Р. Пригожиным (1917–2003 гг.), получившим Нобелевскую премию за 1977 г.

Эти работы вскрыли механизм самосовершенствования и саморазвития так называемых открытых систем, находящихся в состоянии обмена веществом и энергией с окружающей средой.

2.1.6. Краткая история биологии

Историю биологии можно подразделить, хотя и весьма условно, на три существенно разные по времени периода: так называемую традиционную биологию (основанную на наблюдении живой природы), ведущую свое начало с доисторических времен, эволюционную биологию, возникшую в XIX в., и молекулярную биологию — основное направление биологии XX в.

Традиционная биология

В рамках традиционной биологии был накоплен большой материал, основанный на наблюдениях за растениями и животными, установлено множество разных фактов и проведены их осмысление и систематизация.

Уже в доисторические времена люди не только знали большое число видов животных и растений, но и были знакомы с их анатомией и морфологией. Об этом свидетельствуют сохранившиеся наскальные пещерные рисунки верхнего палеолита.

Первобытный человек, занимаясь охотой и собирательством, естественно, наблюдал повадки животных, а также изучал растения, что в дальнейшем позволило ему одомашнить некоторые из них и вывести культурные растения. Широкое одомашнивание животных и культивирование диких растений относится к XIII–VI тысячелетиям до н. э.

Наиболее древними домашними животными были собаки, свиньи, овцы. Первыми культурными растениями были рис, ячмень, пшеница.

В результате одомашнивания происходит процесс изменения животных и растений. Очевидно, что это создает предпосылки для осуществления искусственного отбора. Такой отбор, проведенный в течение многих поколений, привел к изменению целого ряда признаков и свойств животных и растений. Таким

образом, в результате искусственного отбора (селекции) были созданы новые формы живых организмов.

Развитие скотоводства позволило получить новые зоологические и ветеринарные знания, а развитие растениеводства и земледелия способствовало накоплению ботанических и агрохимических навыков.

По-видимому, самым древним сочинением по биологии, относящимся к XIV в. до н. э., является пособие по коневодству хеттского селекционера Киккули.

Из системы биологических знаний постепенно выделяется как относительно самостоятельное направление медицина. Очевидно, что люди давно имели представление об анатомии человека, а также знали многие лекарственные растения.

Следующий важный этап изучения живой природы происходил в эпоху древнегреческой цивилизации. В этот период впервые были выдвинуты идеи возникновения живого из неживых веществ (из неживой материи) под влиянием естественных факторов.

Так, Анаксимандр считал, что живые существа возникают из воды и земли, нагретой Солнцем.

В Древней Греции уже высказывались догадки об эволюционных процессах в живой природе, а также идеи о естественном отборе как движущей силе эволюции. Такие идеи содержатся в учении Эмпедокла, который впервые выдвинул одну из рациональных схем происхождения жизни.

В античный период также закладываются основы некоторых будущих направлений исследований в области биологии и медицины.

Так, в одном из наиболее ранних дошедших до нас сочинений древнегреческий натурфилософ и врач Алкмеон Кротонский, живший в V в. до н. э., приводит некоторые результаты своих анатомических исследований трупов животных и, следовательно, его можно считать основоположником античной анатомии, физиологии и эмбриологии.

Заслуживающим внимания является наследие прославленного древнегреческого врача Гиппократ (ок. 460 — ок. 370 г. до н. э.).

Он врачевал в одном из известных медицинских учреждений того времени — храме бога медицины Акклепия (Эскулапа) на острове Кос в Эгейском море. Он одним из первых начал утверждать в медицине новые взгляды на причины многих болезней и методы их лечения. В частности, он считал, что лечение должно основываться на тщательном наблюдении и изучении больных, на накоплении медицинского опыта. Многие болезни он связывал с образом жизни больного, его наследственностью, возрастом и т. д.

Составленный Гиппократом “Свод” лечебных правил хорошо известен всем медикам, которые дают клятву Гиппократа. Таким образом, Гиппократ основал учение, которое пережило многие века.

Если в области античной медицины наиболее знаменит Гиппократ, то в области общебиологических античных знаний выдающаяся роль, безусловно, принадлежит Аристотелю. Он был самым многогранным и многосторонним из древнейших философов. Но именно книги Аристотеля по биологии оказались наиболее глубокими из его огромного энциклопедического наследия.

Самым главным вкладом Аристотеля в биологию является то, что он провел первую систематизацию и классификацию животного мира. Всего в классификационную систему им было включено свыше 500 видов животных. Аристотель объединял их в отдельные группы и систематизировал по отдельным признакам. Всех животных он поделил на кровных и бескровных (что примерно соответствует современному делению на позвоночных и беспозвоночных). В целом, в основе его систематики лежит принцип иерархии природы — от простого к сложному.

Концепции крупнейших античных ученых — Гиппократа и Аристотеля были в дальнейшем развиты их ближайшими учениками и последователями. Так, после смерти Аристотеля руководство его школой перешло к его ученику Теофрасту (370 — ок. 287 г. до н. э.), который стал основателем ботаники. Он описал и систематизировал в духе Аристотеля свыше 500 видов растений в двух трудах — “История растений” и “Причины растений”.

Что касается учения Гиппократов, то оно получило широкое распространение и дальнейшее развитие благодаря усилиям его учеников и последователей, известных древнегреческих врачей Праксогора (IV в. до н. э.), Герофилиуса (IV в. — начало III в. до н. э.) и Эрисистрата (около 250 лет до н. э.). Они уделяли большое внимание анатомии и физиологии человека. Они также дали описание сетчатки глаза, печени, селезенки, двенадцатиперстной кишки; проводили исследования кровеносной и нервной системы, а также изучение мозга; в практической медицине — уделяли внимание вопросам правильной диеты, лечебной физкультуры, а также изучали действие лекарственных трав.

И, наконец, завершил развитие античной медицины знаменитый греческий врач Клавдий Гален (130–200 гг. н. э.), живший с 162 г. в Риме. Он был врачом в школе гладиаторов. Это дало ему возможность детально изучать анатомию человека. Гален отмечал большое сходство строения человека и обезьяны. Он доказал, что артерии наполнены кровью, а не воздухом (как это считалось до него), и дал первую схему кровообращения в организмах. Эта схема господствовала в течение более чем 1,5 тыс. лет вплоть до ее существенного уточнения английским врачом Уильямом Гарвеем (1578–1657 гг.) в 1629 г. в его труде “Экспериментальная анатомия сердца и сосудов у животных”.

После распада Римской империи центр мировой цивилизации переместился на арабский Восток, и многие естественнонаучные знания античных ученых были освоены арабами, в том числе наследие Гиппократов, Аристотеля и Галена. Продолжалось развитие многих направлений естествознания, прежде всего в области астрономии, математики и химии. Но в области биологии в этот период не было получено сколько-нибудь заметных новых результатов.

Исключением являются труды известного врача и ученого Востока — Ибн Сины (Авиценны) (980–1037 гг.). Он оставил большое наследие по медицине, которое, однако, в основном, опиралось на идеи Гиппократов и Галена.

В конце XI в., в результате крестовых походов на Восток европейцы открыли там более высокую культуру. Итальянец

Жерар де Кремона (1114–1187 гг.) снова перевел с арабского языка на латынь Гиппократа, Аристотеля и Галена. А немецкий ученый Альберт Магнус (1206–1280 гг.) стал поклонником и популяризатором вновь открытого Аристотеля. В целом же период Средневековья характеризовался общим застоєм.

Эпоха Возрождения дала мощный импульс развитию всех естественно-научных знаний, в том числе и биологии.

Великие географические открытия привели к существенно-му расширению наших знаний о многообразии представителей фауны и флоры.

Развитие искусства, прежде всего живописи и ваяния, усилило интерес к изучению форм и строения человека. Знаменитый Леонардо да Винчи был не только выдающимся художником, но и профессиональным анатомом. Он занимался расчленением тел животных и человека с целью изучения их строения. Ему принадлежит целый ряд открытий в биологии. Он считается основоположником гомологии (термин введен в 1843 г. Ричардом Оуэном, 1804–1892 гг.) — науки, устанавливающей сходство в строении органов у различных животных, несмотря на их внешние различия.

Европейская биология в начале эпохи Возрождения, по существу, заново прошла древнегреческий путь развития, перекрестила многие сведения, известные древним грекам, и затем быстрыми темпами стала накапливать новые знания.

Основное направление изучения биологических объектов в этот период осталось прежним. Это так называемая традиционная биология, которая включает в себя наблюдения, изучение и накопление данных о представителях фауны и флоры и их систематизацию. Она охватывает огромную совокупность направлений в изучении живой природы. Это и анатомия, и морфология животных и растений, и физиология, изучающая функционирование различных животных систем и отдельных организмов, и вопросы размножения и эмбрионального развития, и т. д. и т. п.

В XVI–XVII вв. проводилось много исследований по изучению растений и животных, и появился ряд работ обобщающего

характера. Среди них необходимо указать прежде всего работы Конрата Геснера (1516–1565 гг.), Андреаса Везалия (1514–1564 гг.), Амбруаза Паре (1517–1590 гг.), Яна Гельмонта (1577–1644 гг.) и У. Гарвея.

К. Геснер, швейцарский естествоиспытатель-энциклопедист, осуществил систематизацию зоологического материала.

Андреас Везалий, бельгийский анатом, заложил основы научной анатомии.

Амбруаз Паре, французский врач, считается одним из родоначальников современной хирургии.

Ян Гельмонт, голландский естествоиспытатель, по праву считается основоположником физиологии растений. Он первым начал изучать химические процессы в растениях (сейчас это направление биохимии).

Уильям Гарвей, английский врач, физиолог и эмбриолог исследовал проблему кровообращения. Он открыл законы циркуляции крови, сформулированные в его книге “О движении сердца и крови” (1628 г.). Гарвей установил направление кровотока: из вен в сердце и затем из сердца в артерии. Он предположил, что из артерий кровь попадает каким-то образом снова в вены (сейчас мы знаем, что через невидимую глазом мельчайшую капиллярную систему), и кровь многократно циркулирует через сердце.

Во второй половине XVII в. некоторыми биологами были приняты новые попытки систематизации мира растений и животных. Одна из таких систем, общепринятых в конце XVII — первой половине XVIII вв., была создана французским ботаником Жозефом Питтоном де Турнефором (1656–1708 гг.). Крупную работу по систематизации растений и животных проделал английский натуралист Джон Рэй (1627–1705 гг.). В труде “История растений” он описал и систематизировал более 18 тыс. видов растений, а в 1693 г. подготовил энциклопедию жизни животных, где они были сгруппированы по ряду признаков.

Эта система классификации была в дальнейшем взята за основу и затем развита шведским ученым естествоиспытателем Карлом Линнеем (1707–1778 гг.), создавшим свой фундаментальный труд “Система природы” (1735 г.).

Важным рубежом в биологической науке явилось изобретение в 1608 г. микроскопа. Использование микроскопа биологами открыло для них новый огромный мир живого — мир микробиологии.

Уже первые работы, в которых для исследований применялись микроскопы, дали целый ряд сенсационных результатов. Среди первых авторов следует отметить итальянского анатома и врача Фраческо Стелутти (1577–1615 гг.), английского ботаника и врача Грю Неемия (1641–1712 гг.), голландского натуралиста Яна Сваммердама (1637–1680 гг.), итальянского биолога и врача Марчелло Мальпиги (1628–1694 гг.) и особенно — голландского натуралиста Антони ван Левенгука (1632–1723 гг.) и английского естествоиспытателя Р. Гука.

М. Мальпиги, например, в 1660 г. открыл мельчайшие, невидимые невооруженным взглядом, кровеносные сосуды — капилляры, которые соединяют вены с артериями и полностью замыкают кровеносную систему. Таким образом, эти исследования явились завершающим этапом, блестящим подтверждением гипотетических выводов Гарвея о наличии замкнутой кровеносной системы в живых организмах и ее функционировании.

Исследования Левенгука открыли целый мир неведомых и невидимых микроорганизмов. Ему удалось увидеть самые малые в то время живые организмы, названные позже бактериями. Примерно через 100 лет после Левенгука мир бактерий подробно описал Отто Мюллер (1730–1784 гг.).

И наконец, крупным событием в биологии стало открытие Р. Гуком клеточного строения растений. Свои результаты он опубликовал в 1665 г. в книге “Микрография”, где им впервые был введен в науку термин “клетка”.

В дальнейшей истории биологических исследований микроскоп стал одним из важнейших инструментов, и с помощью него по мере усовершенствования микроскопических методов исследований было сделано много фундаментальных открытий в области строения и функционирования различных микроструктур живых организмов.

Рассматривая основные работы по биологии, относящиеся в XVI–XVIII вв., следует также остановиться на двух крупных

исследованиях, которые завершили системы классификации и систематизации растений и животных. Это работы выдающихся биологов XVIII в.: шведского натуралиста К. Линнея и Жоржа Луи Бюффона (1707–1788 гг.).

В своем ставшем классическом труде “Система природы” К. Линней построил наиболее удачную классификацию растений и животных, представляющую собой общебиологическую модель видовой, родовой и классовой соподчиненности всех организмов, которая в основном сохранилась в науке до настоящего времени.

Ж. Бюффон изложил систематику животного мира в фундаментальном труде — 36-томной “Естественной истории”.

Линней отстаивал постоянный, неизменный характер видового состава, концепцию неизменного живого мира. Бюффон, напротив, одним из первых изложил концепцию трансформации, т. е. возможности ограниченной изменчивости видов под влиянием внешней среды.

Интересно отметить, что Линней в “Системе природы” поставил человека рядом с человекообразной обезьяной, и, по существу, положил начало научному представлению о происхождении человека.

Из других работ второй половины XVIII в. следует указать некоторые взаимосвязанные исследования, носящие принципиальный характер в понимании процессов питания и физиологии растений.

Так, английский ботаник Стивен Хейлс (1677–1761 гг.) установил, что растения активно усваивают углекислый газ, а английский химик Джозеф Пристли (1733–1804 гг.), открывший газ кислород, экспериментально показал, что растения выделяют его и тем самым увеличивают содержание кислорода в воздухе.

Таким образом, в результате рассмотренного цикла работ было доказано, что в живой природе растения и животные совместно поддерживают определенное химическое равновесие между содержанием кислорода и углекислого газа в атмосфере — 21% кислорода и 0,03% углекислого газа.

Подводя предварительные итоги развития биологии до начала XIX в., можно сказать, что в этот период был в основном пройден первый этап в изучении живой природы, этап описательной биологии, завершившийся классификацией всего растительного и животного мира. В этот период были также выяснены некоторые важные механизмы функционирования живых систем (кровообращение, пищеварение, дыхание) и открыт мир мельчайших живых организмов, мир микробиологии, вплоть до мельчайшей живой структуры — клетки.

В следующем столетии биология развивалась в основном по трем главным направлениям. Во-первых, изучение состава и структуры живого вещества привело к возникновению и развитию органической химии (биохимии). Во-вторых, на основе развития и внедрения новых физико-химических экспериментальных методов исследования произошло глубокое проникновение в мир клетки животных и растений. И, наконец, в-третьих, появились условия для становления и создания теории эволюционного развития живой природы.

Кратко рассмотрим основные результаты по этим направлениям.

В 1807 г. по предложению известного шведского химика Йенса Якоба Берцелиуса (1779–1848 гг.) все вещества, из которых состоят живые организмы, стали называться органическими веществами. Затем, в 1827 г., английский физиолог Уильям Праут (1785–1850 гг.) установил, что сложные органические вещества любых живых организмов (растений и животных) состоят в основном из одних и тех же трех менее сложных групп, получивших в дальнейшем названия гидрокарбонатов (углеводов), липидов (жиров) и протеинов (белков).

В результате этих работ было выяснено, что не существует каких-либо особых элементов, входящих только в состав живых организмов, и что все эти вещества являются составляющим многих обычных неживых веществ, таких как CO_2 — углекислый газ, H_2O — вода, NH_3 — метан, H_2SO_4 — серная кислота и т. д.

Полученные результаты стимулировали широкий фронт работ химиков, например, Юстуса фон Либиха (1803–1873 гг.),

Пьера Эжена Бертелло (1827–1907 гг.) по синтезированию различных органических веществ из неорганических. В первой половине XIX в. были синтезированы из обычных неорганических веществ такие органические вещества, как метан, бензол, ацетилен, мочевины, метиловый и этиловый спирт и т. д. В дальнейшем органическая химия перестала быть наукой о живых веществах, образованных только жизненными формами.

Клеточная теория и эволюционная биология

Следующий этап в исследовании живого вещества связан с дальнейшим изучением клеток живых организмов.

В этом направлении очень важное открытие сделал в 1831 г. шотландский ботаник Роберт Броун (1773–1858 гг.). Наблюдая в микроскоп строение листа растения, он обнаружил внутри клетки круглое плотное образование, которое назвал ядром.

Дальнейшее изучение клеток многочисленных видов растений привело в 1838 г. немецкого ботаника Маттиаса Якоба Шлейдена (1804–1881 гг.) к выводу, что ядро является обязательным структурным элементом всех растительных клеток. А все растения состоят из клеток, являющихся мельчайшей самостоятельной универсальной единицей живой материи.

В 1839 г. немецкий зоолог Теодор Шван (1810–1882 гг.), который изучал клетки животных, обнаружил что клетки животных также, как и клетки растений, тоже имеют ядра, и несмотря на огромное разнообразие представителей животного и растительного мира, их строение одинаково.

Т. Шван и М. Я. Шлейден вошли в историю биологии, как создатели клеточной теории. Они стали родоначальниками новой науки о клетке — цитологии.

Клеточная теория явилась одной из двух великих открытий в биологии первой половины XIX в. Она лежит в основе представлений о единстве всего живого, общности его происхождения и развития.

Другим выдающимся открытием середины XIX в. явилось создание эволюционной теории развития жизни на земле великим английским естествоиспытателем Чарльзом Дарвином

(1809–1882 гг.), которую он опубликовал в 1859 г. в основном своем научном труде “Происхождение видов путем естественного отбора, или Выживание благоприятствующих пород в борьбе за жизнь”.

Напомним, что идея эволюции живого мира была высказана еще древними греками. Но от идеи эволюции до создания теории эволюции Ч. Дарвином прошел длительный и сложный путь.

Из наиболее крупных биологов — предшественников Дарвина, помимо Ж. Бюффона, который одним из первых пришел к выводу о возможности образования новых видов, необходимо указать также французских естествоиспытателей Жана Ламарка (1744–1829 гг.) и Жоффруа Сент Илера (1805–1861 гг.).

Ламарк был наиболее последовательным сторонником идеи эволюционизма, которую он четко сформулировал в “Философии зоологии”, вышедшей в 1809г., где подчеркивалось огромное влияние условий внешней среды на формирование новых свойств организмов с последующей передачей их по наследству.

В “Философии зоологии” Ламарк также высказал мысль о возможном происхождении человека от общих с животными биологических основ и его последующего совершенствования под влиянием факторов изменчивости.

Новая теория эволюционного развития мира животных и растений, созданная Ч. Дарвином, вскрыла естественные внутренние причины и механизмы эволюционного процесса. Главным механизмом целенаправленного и целесообразного изменения видов является, по теории Дарвина, естественный отбор. Принцип естественного отбора оказался настолько действенен, что накопленные в дальнейшем знания в биологии только укрепили его. Более того, получившая стремительное развитие в XX в. новая наука — генетика — дала более глубокое обоснование теории эволюции Дарвина, в результате чего вершиной эволюционной теории XX в. стала так называемая синтетическая теория эволюции живого мира — сплав Дарвиновской теории эволюции с генетикой.

Вторая половина XIX в. отмечена также дальнейшим углублением в изучение структуры клетки, расширением исследо-

ваний в области микробиологии и возникновением экспериментальных основ нового направления в биологии — генетики.

Швейцарский биохимик Фридрих Мишер (1844–1895 гг.) выделил из ядер лейкоцитов вещество со свойствами кислоты. Он назвал его нуклеином (от лат. *nucleos* — “ядро”). Результаты своих опытов он опубликовал в 1871 г. Этот год вошел в историю естествознания как год открытия нуклеиновых кислот (такое название дал этому веществу в 1889 г. немецкий гистолог Рихард Альтман, 1852–1900 гг.).

Следующий этап в изучении нуклеиновых кислот сделал немецкий биохимик Альбрехт Коссель (1853–1927 гг.), открывший в 1886 г. аминокислоты гистодин.

В то время было установлено существование двух видов нуклеиновых кислот (которые в конце 40-х гг. XX в. были идентифицированы как ДНК и РНК).

Следующей вехой в изучении структуры клетки были исследования Вальтера Флемминга (1843–1905 гг.), который обнаружил, что в ядрах клеток появляются хорошо видимые тонкие нити, названные впоследствии хромосомами.

Одновременно в 1980-е гг. немецкий эмбриолог Теодор Бовери (1862–1915 гг.) и бельгийский гистолог и эмбриолог Эдуард Бенеден (1846–1910 гг.) выяснили, что число хромосом постоянно в разных клетках организма, и каждый вид имеет свой хромосомный набор (по современным данным, каждая клетка человека, например, имеет 46 хромосом). Исключением из этого правила являются половые клетки (мужские и женские). Они получают только половину обычного набора хромосом. И только после оплодотворения клетка имеет такой же набор хромосом, как и все остальные. Установление факта сохранения четко определенного количества пар хромосом в клетках послужило в дальнейшем главной причиной связывать передачу наследственных признаков отдельных организмов с хромосомами.

Наряду с успехами в цитологии были также получены важные результаты и в другой области микробиологии, а именно в бактериологии.

Говоря о достижениях в области бактериологии, следует особо подчеркнуть выдающуюся роль в развитии многих на-

правлений микробиологии французского ученого Луи Пастера (1822–1895 гг.), который не только установил природу многих возбудителей болезней (микробов), но и явился основоположником новой науки — иммунологии.

Ему также принадлежит идея о ведущей роли ферментов, или, в широком смысле, биокатализаторов, в процессе жизнедеятельности.

Завершая анализ работ, посвященных успехам микробиологии, отметим еще одно выдающееся открытие, сделанное на рубеже двух столетий. Речь идет об открытии в 1892 г. русским ботаником Д. И. Ивановским (1864–1920 гг.) нового класса мельчайших организмов, впоследствии названных вирусами. Это открытие дало начало новому направлению науки — вирусологии.

И последнее достижение биологии второй половины XIX в. — это экспериментальные работы по изучению механизмов изменчивости и наследственности живых организмов, которые заложили основы новой науки — генетики.

Грегор Мендель (1822–1884 гг.) получил многолетний экспериментальный материал по изучению некоторых признаков (цветовых) различных сортов гороха во многих поколениях и выявил определенные закономерности в наследовании рассматриваемых признаков.

В результате им были сформулированы хорошо известные теперь законы наследственности.

Основное открытие Менделя заключалось в том, что отдельные отцовские и материнские признаки не смешиваются, не усредняются, а расщепляются и дискретно передаются следующим поколениям, проявляясь как в чистом виде, так и в точных количественных соотношениях.

Открытие Менделя, однако, опередило свое время. Основная часть биологов еще не прониклась пониманием важности и необходимости изучения проблем изменчивости и наследственности живых организмов, и работа Г. Менделя попросту была забыта на несколько десятилетий. Законы Менделя были переоткрыты сразу несколькими учеными независимо друг от друга уже в начале XX в.

Биология XX в.

Научно-технический прогресс первой четверти XX в. привел к созданию совершенно других возможностей постановки и проведения экспериментальных и теоретических исследований практически во всех направлениях естествознания, в том числе и в биологии. Это стало возможным прежде всего в результате крупных достижений в физике.

Открытие электронов в конце XIX в. привело в дальнейшем (в 1930-х гг.) к созданию электронных микроскопов, которые позволили увеличивать исследуемые объекты в десятки и сотни тысяч раз (по сравнению с увеличением в несколько тысяч раз у световых микроскопов). Открытие рентгеновского и других излучений позволило разработать методику и создать аппаратуру для высокоточного рентгеноструктурного анализа пространственных (в том числе и высокомолекулярных) структур. Можно указать и многие другие методы и экспериментальные установки, разработанные на основе достижений физики (метод молекулярных пучков, установки и приборы электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), ядерного магнитного резонанса (ЯМР) радиоспектроскопия, ультразвуковые исследования и др.).

Применение физических методов исследования в биологии привело к созданию отдельной науки — биофизики, применение химических методов в биологии — к созданию биохимии. А продвижение исследований на основе физико-химических методов вглубь живой материи вплоть до органических высокомолекулярных соединений привело к созданию молекулярной биологии.

В результате синтеза этих наук в XX в. удалось существенно продвинуться вперед в плане выяснения природы и механизма изменчивости и наследственности на уровне мельчайших дискретных единиц — носителей отдельных признаков наследственности — генов, продвинуться в изучении структуры и механизмов функционирования клетки, а также пройти значительный путь в понимании механизма возникновения жизни на молекулярном уровне.

Ниже дадим хронологию развития исследования по этим трем ключевым направлениям в области генетики, цитологии и механизма возникновения жизни.

Генетика

Начало XX в. ознаменовалось новой вспышкой интереса к проблеме наследственности и изменчивости живой природы. Показательно, что практически одновременно и независимо друг от друга к этой проблеме обратились сразу три исследователя: голландский ботаник Хуго де Фриз (1848–1935 гг.), немец Карл Корренс (1864–1933 гг.) и австрийский биолог Эрих Чермак-Зейденегг (1871–1962 гг.).

Они проводили эксперименты на различных растениях, аналогичные опытам Г. Менделя, и в 1900 г. заново открыли законы Менделя. В 1901 г. Х. де Фриз ввел термин “мутация” для обозначения любых резких наследственных изменений в живых организмах. В результате этих экспериментов было бесспорно доказано, что отдельные признаки живых организмов определяются отдельными дискретными факторами.

В 1909 г. датский биолог Вильгельм Иогансен (1857–1927 гг.) обозначил элементарную частицу наследственности термином “ген” — от греч. *génos* — “дающий жизнь”.

Дальнейший существенный шаг в развитии науки об изменчивости и наследственности сделал американский генетик Томас Морган (1866–1945 гг.), который провел впервые широкие эксперименты на животных организмах, на насекомых. В 1907 г. он предложил плодовую мушку дрозофилу в качестве нового биологического инструмента. Это насекомое быстро размножается и образует большое потомство. В результате за относительно короткое время можно было обнаружить множество мутаций и изучить тенденции проявления тех или иных признаков во многих поколениях.

В дальнейшем эффективность биологических методов исследования была существенно увеличена благодаря работам ученика Т. Моргана, генетика Германа Меллера (1890–1967 гг.). Он обнаружил, что частота мутаций растет с повышением тем-

пературы, а также многократно увеличивается под воздействием рентгеновских лучей (1926 г.). В результате за многолетний период этих работ был накоплен большой экспериментальный материал, который способствовал созданию теоретических основ генетики, нашедших выражение в так называемой хромосомной теории наследственности в трудах Августа Вейсмана (1884–1914 гг.), Т. Моргана (1866–1945 гг.), Г. Меллера. Эта теория позволила выявить механизмы действия законов Менделя, а также понять генетические основы теории естественного отбора.

Следующий вопрос, который встал в конце 1930-х гг., — это вопрос о природе генов. Вначале казалось почти очевидным, что ген представляет собой какое-то белковое тело, поскольку считалось, что основу жизни составляют белки. Однако появление в 1930–1940 гг. новых экспериментальных физических и химических методов позволило провести более тонкий вещественный и структурный анализ различных белков и вещества хромосом и выявить другую вещественную и структурную природу генов.

Методом меченых атомов было установлено, что хромосома, а следовательно и гены, представляют собой нуклеопротеины. Молекула нуклеопротеина состоит из белка и нуклеиновой кислоты, открытой в 1869 г. Фридрихом Майшером (1844–1895 гг.).

В конце 1930-х гг. Арне Тизелиус (1902–1971 гг.) установил, что белки состоят только из смеси аминокислот. За эти исследования А. Тизелиус в 1948 г. получил Нобелевскую премию. А исследователи Арчер Мартин (1910–2002 гг.) и Ричард Синг (1914–1994 гг.) в начале 1940-х гг. показали, что белки состоят из 20 аминокислот, расположенных цепочкой в молекуле. Эти исследования в 1952 г. также были отмечены Нобелевской премией.

Параллельно этим работам велось изучение состава нуклеиновых кислот. Большой объем работ в этом направлении в 1930-х гг. выполнил Фабус Левин (1869–1940 гг.). Он показал, что в молекулах нуклеиновой кислоты существует единый трехчленный блок, названный нуклеотидом, состоящий из молекулы фосфорной кислоты, молекулы сахара и одного из пуринов или пиримидинов. Молекула нуклеиновой кислоты состоит из це-

почки таких нуклеотидов так же, как молекулы белков состоят из цепочки аминокислот. Нуклеиновая цепочка составлена из фосфорной кислоты одного из нуклеотидов, присоединенной к сахарной группе другого нуклеотида. Таким образом строится “сахарно-фосфатный позвоночник”, от которого отходят индивидуальные группы пуринов и пиримидинов. Далее Левин показал, что в нуклеиновых кислотах находятся молекулы сахаров двух типов: рибозы и дезоксирибозы. В связи с этим различают соответственно два вида нуклеиновых кислот — рибонуклеиновую (РНК) и дезоксирибонуклеиновую (ДНК).

Проведенные исследования состава белков и нуклеиновых кислот сами по себе еще не давали возможности выяснить белковую или нуклеиновую природу генов. Ясность в этом вопросе была внесена в 1944 г. группой ученых под руководством американского бактериолога Овальда Эвери (1877–1955 гг.), которые доказали нуклеиновую природу генов.

Вместе с разложением белков на отдельные аминокислоты, а нуклеиновых кислот — на отдельные нуклеотиды проводилась работа и по встречным направлениям, а именно по синтезу аминокислот и белков из них, а также синтезу нуклеотидов и нуклеиновых кислот из них. Так, например, широкую известность получили работы английского химика Александра Тодда (1907–1997 гг.), который провел в 1940-х гг. синтез различных нуклеотидов.

Таким образом, постепенно появлялись все более подробные и всесторонне обоснованные данные о составе и структуре нуклеиновых кислот. Системный анализ всех этих данных завершился выдающимся достижением середины XX в. Будущие Нобелевские лауреаты 1963 г. Фрэнсис Крик (1916–2004 гг.) и Джеймс Уотсон (р. 1928 г.) опубликовали в 1953 г. работу о структуре молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты — основного носителя информации в живой природе, представляющей собой определенную упорядоченную последовательность нуклеотидов в виде двойной спирали. Согласно модели Крика–Уотсона, наследственную информацию в молекуле ДНК несет последовательность четырех оснований: двух пуриновых и двух пиримидиновых.

Открытие структуры ДНК явилось огромным шагом в развитии молекулярной биологии в целом, в том числе и молекулярной генетики.

Вскоре удалось решить и другой принципиальный вопрос: каким образом осуществляется передача информации от ДНК к отдельным структурам клетки для обеспечения управления их функционированием; в частности, как происходят регулирование и управление важнейшей функцией живой клетки — синтезом необходимых белков (ферментов)? Как известно, в составе белков содержится 20 аминокислот. Возникает вопрос: как 4-буквенная (4 нуклеотида) запись структуры ДНК переводится в 20-буквенную запись всего набора аминокислот белков?

Впервые механизм такого перевода показал в середине 1950-х гг. известный физик-теоретик Георгий (Джордж) Гамов (1904–1968 гг.), который считал, что для кодирования одной аминокислоты требуется сочетание трех (из четырех) нуклеотидов ДНК, а различные их сочетания обеспечивают синтезирование всех 20 аминокислот.

После расшифровки ДНК и открытия структуры генов началась работа по искусственному синтезу и реконструкции различных молекулярных структур.

В 1970–1980 гг. широкое развитие получил генетический синтез новых гибридных форм с целью создания искусственных молекул ДНК для биологических систем с заранее заданными новыми свойствами. Это направление получило название генной инженерии. В 1972 г. под руководством американского биохимика, будущего лауреата Нобелевской премии Пола Берга (р. 1926 г.) впервые была искусственно синтезирована молекула РНК.

В настоящее время генетика освоила методы целенаправленного получения организмов с желаемыми свойствами или внедрения в хромосому генов — носителей желаемых свойств.

Цитология

Как уже отмечалось, XX столетие в биологии по праву можно назвать веком генетики, имея в виду ее поражающие воображение фундаментальные открытия. Но и в ряде других на-

правлений в этот период наблюдается также огромный прогресс. Прежде всего это имело место в цитологии — науке о клетке, ее строении и функционировании.

Сведения о строении и функционировании клетки существенно расширились с использованием в 1930-х гг. нового инструмента для исследования микрообъектов — электронного микроскопа. Его применение позволило увидеть новые компоненты клетки — плазматические мембраны, рибосомы, осуществляющие синтез белка, лизосомы, содержащие гидролитические ферменты, ядро, состоящее из белков и нуклеиновых кислот и осуществляющее управление всеми процессами в клетке, и ряд других. А изучение тонкой структуры клеток привело к обнаружению генного аппарата на основе ДНК и РНК.

В 1960–1980-е гг. ценой многих усилий был изучен очень тонкий, многоэтапный, уникальный механизм реализации одной из важнейших функций клетки — синтеза белков, осуществляющийся с ювелирной точностью.

Происхождение жизни на Земле

В первой половине XX в. эта проблема рассматривалась большей частью биологов под углом зрения принятия и экспериментальной проверки гипотезы абиогенного (живого из неживого) происхождения жизни еще в те далекие времена, когда формировалась сама Земля на ранних этапах ее развития.

В 20-30-е гг. XX столетия эту гипотезу развил русский биохимик, академик А. И. Опарин (1894–1980 гг.) в работе “Происхождение жизни” (1924 г.). Уже первые попытки экспериментальной проверки данной гипотезы представлялись многообещающими. Во многих лабораториях мира были проведены работы по получению различных органических соединений из неорганических веществ под влиянием внешних сильнодействующих факторов: температуры, электрических разрядов, радиации и т. д.

Сейчас уже стали классическими опыты 1953 г. американских ученых биохимика Стэнли Ллойда Миллера (1930–2007 гг.) и физико-химика Гарольда Юри (1893–1981 гг.), подтвердившие

возможность самопроизвольной организации аминокислот из набора химических веществ, которые, в соответствии с теорией развития Земли, являлись наиболее распространенными в первичной атмосфере нашей планеты на самой ранней стадии ее существования. К ним относятся водород, водяной пар, метан и аммиак. Аналогичные результаты были получены также в 1950–1970 гг. в лаборатории А. И. Опарина, которому удалось синтезировать не только органические молекулы, но и высокомолекулярные (полимерные) органические соединения.

В результате экспериментальным способом были реализованы два этапа химической эволюции: абиогенного образования низкомолекулярных органических соединений и целых полимерных систем (коацерватных капель). Но в лабораторных условиях пока не удалось непосредственно из неживого вещества получить живое.

Во второй половине XX столетия в связи с быстрым развитием молекулярной биологии центр тяжести проблемы происхождения жизни переместился на молекулярный уровень. Одной из наибольших трудностей было определение последовательности возникновения и дальнейшей эволюции молекулярных полимеров белка и двух важнейших разновидностей нуклеиновых кислот — ДНК и РНК.

Исследования показали, что именно РНК обладает рядом особых свойств, позволяющих считать ее первичным звеном в цепи молекулярной эволюции.

Таким образом, согласно современной концепции формирования биологических систем, эволюция важнейших органических молекулярных полимеров проходила в следующей последовательности: РНК → белок → ДНК.

Молекулярная эволюция постепенно повышала функциональные и приспособительные возможности биологических систем, которые образовали уникальные пространственные структуры, устойчивые к влиянию среды.

В 70-е гг. прошлого века возникли новые революционные направления современного естествознания, позволяющие вскрыть внутренние механизмы развития и самосовершенствования

любых природных систем, в том числе и биологических. Наибольшее развитие среди этих направлений получили предложенная И. Р. Пригожиным теория неравновесных процессов и созданная немецким биохимиком Манфредом Эйгеном (р.1927 г.) теория молекулярной эволюции.

Была убедительно доказана возможность, и более того, закономерный характер возникновения органических полимеров, способных к постепенному усложнению, а в дальнейшем — и к самовоспроизведению своей молекулярной структуры.

Из теории Пригожина следует, что в ходе повторяющихся молекулярных превращений неизбежно происходит селективный отбор наиболее выигрышных в энергетическом плане образований.

К аналогичным выводам пришел и Эйген, обосновавший определенную последовательность возникновения и усложнения основных видов биологических молекул. Главный вывод теории Эйгена гласит, что если подходить к эволюции биологических систем с чисто физических позиций, то возникновение жизни следует признать процессом закономерным и неизбежным.

Объяснением процессов самоорганизации в природе занимается также научное направление, возникшее в 1970-е гг. и получившее название “синергетика”, родоначальником которого стал немецкий физик, специалист в области лазерной техники Г. Хакен.

Выводы синергетики, принципиально согласующиеся как с теорией неравновесных процессов Пригожина, так и с теорией молекулярной эволюции Эйгена, показывают, что самоорганизация физических систем является процессом совершенно обоснованным и даже закономерным. Однако для реализации этого процесса требуется совместное выполнение по крайней мере следующих двух необходимых условий:

- 1) система должна быть открытой, что предполагает ее свободный обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой;
- 2) система должна быть неравновесной, находящейся на границе устойчивости хотя бы по одному из своих параметров.

Именно к таким системам и принадлежат биологические объекты.

2.2. Панорама современного естествознания

2.2.1. Физика

Два основных представления о структуре материи были сформулированы примерно 2500 лет назад в античной натур-философии: атомистическая концепция Демокрита и континуальная доктрина Аристотеля.

Согласно первому подходу считалось, что материя делима до определенного предела — до атомов, которые могут соединяться различными способами и порождают все многообразие объектов и явлений реального мира. Необходимым условием движения и соединения материальных атомов является пустое пространство. Таким образом, по Демокриту, мир образован двумя фундаментальными началами — атомами и пустотой, а материя обладает атомистической структурой.

В конкурирующей концепции Аристотель признавал бесконечную делимость материи, что выступало критерием ее непрерывности. В этой концепции также фигурирует представление о пространстве как вместилище. Но так как материя непрерывно заполняет его, то не остается места пустоте. Материя изначально является бесструктурной.

Эти представления о структуре материи просуществовали вплоть до начала XX в. За этот огромный промежуток времени в двух концепциях происходила конкретизация связи различных элементов материи. Но атомистическая концепция строения материи практически не претерпела каких-либо изменений: атомы по-прежнему рассматривались как плотные образования материи, как предел физического ее деления. Механическое движение атомов происходит в абсолютном пространстве (аналог Демокритовой пустоты) и абсолютном времени.

В рамках этой атомистической концепции строения материи была развита классическая механика Ньютона, которая

достигла огромных успехов в описании природы. Более того, механика долгое время трактовалась как некая единая наука: все сводилось к механике, к построению механических моделей, к решению механических уравнений. Вселенная предстала как гигантский механизм.

Однако с самого начала была область, которая с трудом вписывалась в рамки механической картины мира. Речь идет об оптике. Непосредственное перенесение механических (например, акустических) моделей в оптику оказалось невозможным.

Развитие электродинамики Максвелла привело к поразительному открытию: свет оказался разновидностью электромагнитных волн. Соответственно совершенно иначе предстала проблема строения материи. Изменялась вся физическая картина мира.

Ход развития оптики, а затем и электродинамики привел к признанию существования электромагнитного поля как нового вида физической реальности, что обусловило поворот от идей атомизма к континуальной концепции строения материи. Эйнштейн считал, что понятие поля завоевало прочное положение в физике и сохранилось в качестве одного из основных физических понятий. Для современного физика электромагнитное поле “столь же реально, как и стул, на котором он сидит”.

С развитием электромагнитной картины мира достойное место заняла континуальная концепция строения материи. Но она выступила не как отрицание атомистической концепции вообще, а лишь как отрицание ее механической конкретной модели. Более того, целый ряд экспериментальных и теоретических исследований показал, что в природе существуют дискретные элементарные объекты в рамках электромагнитной картины мира. Атомизм был возрожден на более глубоком уровне строения материи — само электричество оказалось “атомистичным”, состоящим из электронов — мельчайших электрически заряженных частиц.

В начале XX столетия атомистическая концепция строения материи получила снова очень существенное развитие, которое привело к странным результатам, находящимся в поразитель-

ном противоречии с исходными представлениями о материи, не содержащей в себе пустоты, — это и выступало критерием неделимости. Соответственно, например, твердое тело представлялось как плотное множество атомов, т. е. большая часть твердого тела представлялась заполненной материей.

Однако в 1911 г. Э. Резерфорд показал, что атом является не плотным “бильярдным шаром”, а некой “солнечной системой” в миниатюре. В центре находится ядро, состоящее из положительно заряженных протонов и электрически нейтральных нейтронов, а вокруг, как спутники, вращаются отрицательно заряженные электроны. Масса протона (и нейтрона) примерно в 1840 раз больше массы электрона. Главное в этой модели то, что масса атома сосредоточена в мельчайших частицах, которые занимают ничтожную часть объема атома. Получается, что атом в основном пустой.

На повестку дня встала новая проблема построения специальной механики атомного мира. Ситуация сложилась достаточно сложная. С одной стороны, была построена оригинальная планетарная модель атома. А с другой стороны, она противоречила господствующей теории электромагнитного поля. Так, в соответствии с законами электродинамики, вращающийся вокруг ядра электрон должен непрерывно излучать энергию и в конце концов упасть на ядро. Но в реальности такие процессы не наблюдались, и атомы были достаточно стабильными элементами в структуре материи.

Выход из этих затруднений был найден Нильсом Бором в виде синтеза планетарной модели атома и квантовой гипотезы. Он представил каждое изменение состояния атома как индивидуальный процесс, в ходе которого атом переходит из одного состояния в другое с излучением или поглощением квантов света — фотонов.

С фотонами в физику вошла дуалистичность материи. Свет можно рассматривать в одном случае как волновой процесс (длинные волны), а в другом — как поток фотонов (короткие волны). Что же касается реальной природы света, то она выступает в диалектическом единстве волны и частицы.

Следующий шаг в развитии представлений о структуре материи совершил Л. де Бройль, который показал, что не только световые волны обладают дискретной структурой, но и микрочастицам вещества присущ волновой характер. Он вывел простые соотношения, связывающие энергию E и импульс частицы $p = mv$ с ее волновыми характеристиками — частотой и длиной волны λ : $E = h\nu$; $\lambda = \frac{h}{mv}$, где h — постоянная Планка; m и v — соответственно масса и скорость частицы.

Представления де Бройля о волновых свойствах были применимы к электронам в атоме.

Встала проблема создания волновой механики квантовых объектов. В 1926 г. Шредингер вывел волновое дифференциальное уравнение, определяющее распространение волн, связанное с движением электронов в атоме.

Истинный смысл волновой функции был вскрыт М. Борном, который развил статистическую, вероятностную интерпретацию квантовой механики. Таким образом, на микроуровне не только проявилось корпускулярно-волновое единство, но и выявилось, что в структуре материи фундаментальную роль играют статистические закономерности.

Со второй половины XX в. в физике происходят глубокие и радикальные изменения. Если охарактеризовать эти изменения одним словом, то это будет слово “единство”. Прежде всего имеется в виду единство всех фундаментальных физических теорий.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Построение квантовой механики дало возможность понять сложный мир атомов. Но при этом выяснилось, что сами атомы не являются некими первокирпичиками в структуре материи, а представляют собой сложные динамические системы, составленные из различных элементарных частиц: электронов, протонов, нейтронов и др. Выяснилось, что элементарные частицы связаны различными типами взаимодействий — гравитационным, электромагнитным, слабым и сильным.

Гравитационное взаимодействие играет определяющую роль в космологических процессах, формируя мегаструктуру

материи, а в микромире оно ничтожно мало по сравнению с другими взаимодействиями.

Рассмотрим взаимодействия, играющие определяющую роль в микромире. В первую очередь следует назвать электромагнитное взаимодействие. Оно осуществляется между электрически заряженными объектами, между электрическими зарядами и электромагнитными полями, существующими в атоме.

Следующий тип взаимодействия — так называемое слабое взаимодействие — объясняет процесс радиоактивного β -распада, когда ядра атомов испускают β -лучи (электроны).

И последнее фундаментальное взаимодействие — сильное — отвечает за связь частиц в ядре атома и поэтому часто называется ядерным.

Для объяснения различных фундаментальных взаимодействий важную роль сыграли соображения о единообразии механизмов взаимодействия элементарных частиц. Образцом в данном случае послужила квантовая электродинамика, в рамках которой было выяснено, что взаимодействие электрических зарядов осуществляется с помощью обмена квантами электромагнитного поля — фотонами.

По этому образцу постарались развить и теорию других типов взаимодействий, что потребовало введения в теорию микромира новых обменных элементарных частиц. Например, японский ученый Хидэки Юкава (1907–1981 гг.) выдвинул идею о том, что взаимодействие протонов и нейтронов в атомных ядрах обусловлено специальными частицами — квантами ядерного поля, которые были названы мезонами. В дальнейшем такие частицы были открыты и получили название π -мезонов.

Следующим этапом развития теории сильных взаимодействий было создание так называемой квантовой хромодинамики. После этого встал вопрос о построении единой теории всех видов физических взаимодействий элементарных частиц.

Первые успехи были получены в области создания единой теории электромагнитных и слабых (их называют электрослабыми) взаимодействий. В 1979 г. С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам были удостоены Нобелевской премии за создание такой единой теории.

А лауреатами Нобелевской премии 1984 г. стали Карло Руббиа (р. 1934 г.) и Симон ван дер Мер (р. 1925 г.) за экспериментальное обнаружение новых элементарных частиц W^{\pm} и Z^0 -бозонов, существование которых следовало из теории Вайнберга–Глэшоу–Салама.

В свою очередь, создание единой теории электрослабых взаимодействий, наряду с развитием квантовой хромодинамики, дает реальные перспективы построения единой теории всех форм взаимодействия элементарных частиц (программа Великого синтеза).

В самое последнее время появились новые, весьма перспективные идеи, которые открывают возможность объединения слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий с гравитационными, т. е. объединения всех известных взаимодействий.

Решение этой задачи ознаменовало бы свершение грандиозной научной революции, которую даже трудно измерить масштабами всех предшествующих научных революций. Иначе говоря, мы сейчас имеем очень продуктивную исследовательскую программу, в рамках которой могут быть построены разные теории, и какая из них окажется правильной и даст возможность дальнейшего развития знания определится только самим ходом этого развития. Что же касается направления этого развития, то оно ориентированно и ведет к Великому объединению.

2.2.2. Химия

Современное общество характеризуется быстрым развитием промышленности, сельского хозяйства и других сфер материального производства. В связи с этим появились потребности в новых материалах. Развитие авиационной и автомобильной промышленности, энергетики и приборостроения требует высокооктанового моторного топлива, специальных синтетических каучуков, пластмасс, высокостойких изоляционных материалов, полупроводников, неорганических и органических полимеров и т. д. Эти потребности в значительной степени удовлетворяются химией.

Основные особенности новейшей химии заключаются в том, что она стала мощной “производительной силой” в создании огромного ассортимента веществ. Она синтезирует и извлекает из природного сырья, в том числе растительного и животного происхождения, большое количество новых химических соединений.

Это стало возможным на основе теоретических предпосылок направленного получения продуктов с заранее заданными свойствами.

К настоящему времени химия представляет собой высокоупорядоченную систему знаний о составе, структуре, свойствах различных веществ и их превращениях. Теоретическая химия вскрыла глубинные причины свойств вещества, открыла ряд фундаментальных законов, позволивших выяснить многие механизмы процессов превращения одних веществ в другие. В результате она использует многие способы управления химическими процессами.

Сейчас химия как общая система знаний строится на четырех концептуальных подсистемах (рис. 3), которые исторически появлялись последовательно. При этом каждая новая подсистема не отрицает предыдущую, но, напротив, опиралась на нее в своем развитии.



Рис. 3. Общая структура химических знаний

В процессе развития химических знаний было выяснено, что свойства вещества зависят от элементного и молекулярного состава, структуры его молекул, от условий протекания реакций, в которых получено данное вещество, и от уровня химической организации участвующих в химических реакциях веществ.

Одной из характерных особенностей современной химии является то, что она все в большей мере интегрируется с физикой и биологией. Наибольшее развитие получили именно новые, пограничные с химией, науки: со стороны физики — это химическая физика и физическая химия, а со стороны биологии — это химия высокомолекулярных (органических) соединений и биохимия.

Сейчас фундаментальная теоретическая химия основывается на теоретической физике — квантовой механике, квантовой теории поля, статистической физике, а также неравновесной термодинамике открытых систем.

В то же время прикладная химия все в большей мере использует опыт эволюции живых систем, изучение химических процессов и реакций в биологических системах. Такое направление работ было сформулировано, в частности, в речи известного химика, академика А. Е. Арбузова (1877–1968 гг.) еще в 1930 г. на 125-летнем юбилее Казанского университета. Рассуждая “о путях и целях химии”, он сказал: “Чем же химия будущего должна отличаться от настоящего? Подражание живой природе — есть химия будущего! И в тот день, когда в лаборатории будет синтезирован первый фермент, т. е. биокатализатор, мы можем сказать, что наука получила в свои руки ключ, который она так долго и упорно ищет, — это ключ к химии живой природы”.

Что касается экспериментальной основы, то она, как отмечалось, все в большей мере опирается на новые физические методы исследования: лазерную технику, спектроскопию, ядерный магнитный резонанс, электронный парамагнитный резонанс, молекулярные пучки, рентгеноструктурный анализ, протоннографию, нейтронографию, томографию, методы меченых атомов, возможности создания экстремальных условий протекания реакций — низких и высоких температур и давлений, плазмы и т. д.

Одновременно с развитием физических методов исследований развиваются и новые методы обработки и анализа экспериментальных данных — различного моделирования химических систем (в том числе и математического), системы автоматической обработки данных с помощью ЭВМ и т. д. Все это позволяет получать гораздо более высокое качество заключений и выводов экспериментальных результатов.

Отмечая впечатляющие успехи химии, следует, однако, специально отметить, что в XX столетии теоретическая химия получила большое развитие в основном только в первой его половине, тогда как во второй половине века успехи теоретической химии оказались достаточно скромными. До конца XX в. так и не была создана научная теория химического катализа — одного из важнейших направлений химической кинетики. И до сих пор выбор состава катализаторов решается пока в основном эмпирическим путем.

Другими нерешенными проблемами теоретической химии являются проблемы химических процессов при сверхвысоких давлениях. В самом начале находится теория управления химическими процессами. Явно недостаточно теоретическое объяснение новых направлений в химии — радиационной химии, лазерной химии и т. д. Здесь накоплен определенный экспериментальный материал, но теорий этих процессов до сих пор практически нет, их нужно создавать, иначе поиск нужных результатов будет осуществляться вслепую.

Одно из направлений “поисков вслепую”, которое, однако, оказалось весьма плодотворным, — это, как уже отмечалось, изучение и использование биокатализаторов. В живой природе роль биокатализаторов играют ферменты. Поэтому значительное развитие в области прикладной химии получило изучение синтеза биокатализаторов и ферментов. Одним из первых изученных природных катализаторов был хлорофилл — комплексное металлоорганическое соединение в живой ткани листьев растений. Как известно, этот биокатализатор обеспечивает процесс фотосинтеза органических соединений.

Поэтому вначале рассматривались только металлоорганические соединения, молекулы которых содержали атомы металлов (цинка, алюминия, хрома, титана, железа, свинца, олова), а затем были открыты многие другие элементоорганические соединения, обладающие каталитическими свойствами (в которые входили атомы кремния, фосфора, серы, фтора и др.). В результате появились целые классы элементоорганических соединений, позволяющих синтезировать различные вещества с уникальными свойствами.

В XX столетии одним из основных направлений в химии было создание полимерных материалов, в первую очередь — получение искусственного каучука. С применением элементоорганических соединений эта проблема была решена. Кроме того, было синтезировано и большое число других материалов, в том числе капрон и нейлон. Они отличаются высокой механической прочностью и износоустойчивостью, применяются для производства волокон, пленок, машиностроительных деталей. Это и поликарбонаты, которые прочны, оптически прозрачны. Они применяются в производстве смотровых стекол, корпусов разных машин, бытовой техники, в авиации и космической технике.

Широкое применение нашли полиамиды — термо- и радиационно стойкие материалы. Из них получают пластмассы, пленки, лаки, клеи и волокна. Перечень применяемых в быту и технике полимерных материалов огромен.

В качестве других примеров можно указать на применение металлоорганических катализаторов для синтеза аммиака и водорода при обычной температуре и давлении.

Использование и изучение кремнийорганических соединений позволило заменить в промышленных изделиях металл керамикой, получать в качестве смазочных масел жидкость с постоянной вязкостью в широком интервале температур; из них изготавливают смолу с исключительными диэлектрическими свойствами. На основе этих смол получают каучукообразный материал, сохраняющий эластичность также в широком диапазоне температур от -60 до $+200$ °С.

Помимо биокатализаторов, используемых для синтеза необходимых веществ, в XX в. были открыты и получили широкое внедрение многие процессы, ускоряющие течение нужных химических реакций. Особенно это связано с успехами в области физики.

Например, каталитическое действие на ход химических реакций оказывают разные типы излучений магнитных и электрических полей. В связи с этим возникли радиационная химия, изучающая воздействие радиационных излучений на химические реакции; фотохимия, изучающая химические действия в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра; лазерная химия; плазмохимия холодной и горячей плазмы; химия высоких (от 100 до 1000 бар) и сверхвысоких (более 1000 бар) давлений; магнетохимия — химия в электрических и магнитных полях высокого напряжения.

В этих новых отраслях химии уже получены практические результаты. Так, например, внедрено в промышленность радиационно-химическое модифицирование полимеров. Под воздействием радиации в полиэтилене образуется полимерная сетка, после чего этот полиэтилен можно использовать для изоляции высокочастотных кабелей вместо дорогого тефлона. Реализован фотохимический процесс получения синтетических моющих веществ, растворителей для пластмасс.

С помощью плазмы с 80-х гг. XX в. проводится синтез карбида урана в промышленном масштабе. В США с 1972 г. в плазме с температурой 11 000 К был получен продукт, пригодный для производства глазурей и жаропрочного кирпича.

Высокие и сверхвысокие давления вызывают существенные изменения химической активности соединений. При высоких давлениях получают такие важные соединения, как аммиак, метанол, проводится полимеризация этилена при давлении 1500–2000 бар.

В заключение настоящего раздела следует указать и на целый ряд негативных тенденций, связанных с развитием химии и химизацией экономики. Речь идет об известных экологических проблемах. Сегодня расширение и удовлетворение потребности

общества за счет химии приходит во все большее противоречие с самой возможностью дальнейшего сохранения среды обитания человека на Земле.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур благодаря применению минеральных удобрений и ядохимикатов дало возможность говорить о “зеленой революции”, но это же привело к загрязнению воды, почв и самих продуктов.

В промышленности новые химические вещества дали возможность существенно обогатить производственный потенциал, но, с другой стороны, это повлекло за собой отрицательные экологические последствия, так как большинство новых химических веществ не усваиваются природной средой и таким образом становятся ее загрязнителями. Химия нашла широкое применение в быту, но это также имеет свою обратную, экологическую, сторону.

2.2.3. Биология

В настоящее время биология представляет собой высокоупорядоченную систему знаний, которая исторически развивается, в основном по четырем главным направлениям (рис. 4).

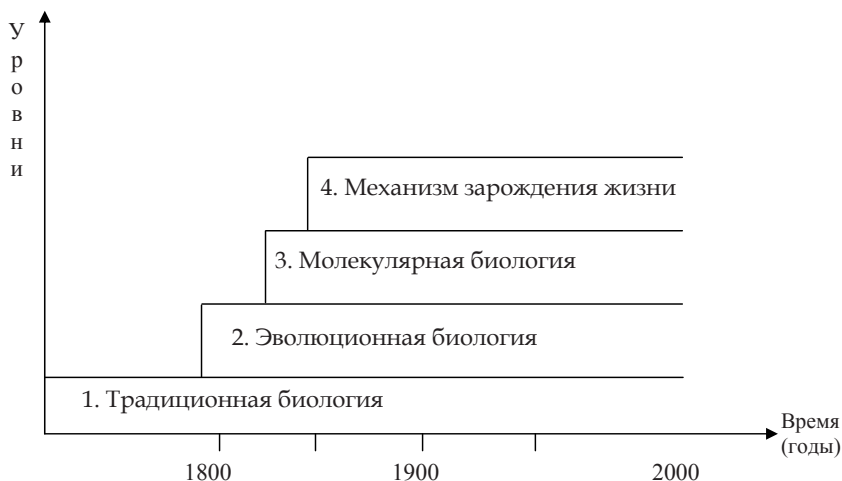


Рис. 4. Исторические уровни развития биологических знаний

Это — традиционная биология, эволюционная биология, молекулярная (физико-химическая) биология и решение на современном уровне проблем возникновения жизни.

Традиционная, или описательная, биология имеет самую давнюю историю. Наиболее бурный период ее развития приходится на XVIII–XIX столетия — это был период накопления и систематизации материала по живой природе. Однако она не утратила своего значения и в наши дни. Более того, одна из наиболее новых биологических наук — экология теснейшим образом связана с традиционной биологией. Развитие традиционной биологии явилось основой зарождения целого ряда новых направлений в биологии, а также оказало решающее влияние на становление нового методологического подхода. Речь идет о развитии так называемого системного подхода к изучению природы в целом.

В живой природе оказалось возможным выделить определенные уровни — подсистемы, в числе которых главными являются: клетка; организм; популяция; биосфера. Были установлены основные закономерности организации и функционирования внутри каждой подсистемы, а также изучены внутренние междусистемные связи.

Примером влияния традиционной биологии на развитие новых направлений является и создание эволюционной теории Ч. Дарвина.

Чарльз Дарвин был естествоиспытателем-натуралистом, он изучал живую природу в ее естественном состоянии и целостности, изучал царящие в ней законы, выявлял такие отличия одного явления от другого, которые и создают представления об их разнообразии или сходстве. И такой подход оказался достаточно точным, чтобы обосновать идею естественного отбора и создать эволюционную теорию образования новых видов.

В основе этой теории, как известно, лежит взаимодействие трех факторов: изменчивости, наследственности и естественного отбора. Изменчивость служит основой образования новых признаков в строении и функциях организмов. Наследственность закрепляет эти признаки, а естественный отбор устраняет те

организмы, которые оказываются не приспособленными к условиям существования.

Таким образом, Дарвин в рамках традиционной биологии установил движущие силы эволюции органического мира. А позже, в XX в. после осмысления теории Дарвина на основе достижений генетики она превратилась в “синтетическую теорию эволюции”.

И наконец, результаты изучения живой природы на всех ее главных уровнях (молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном) привели к созданию второго направления биологических знаний — эволюционной биологии. С другой стороны, анализ смежных с биологией естественно-научных дисциплин привел к концепции универсального эволюционного развития не только в биологии, но и во всем естествознании. Сейчас это стало одним из ведущих принципов исследования природы в целом.

Третье ведущее направление современной биологии — молекулярная биология — развилось на основе внедрения новейших физических и химических методов исследований явлений и процессов живой природы. Это явилось результатом сближения описательной биологии с точными науками — физикой и химией. Возникли пограничные, смежные дисциплины — биофизика и биохимия. В результате постепенно происходит синтез трех основных естественно-научных дисциплин — физики, химии и биологии.

Современная экспериментальная биология вооружена новейшими методами, позволяющими проникнуть в субмолекулярный и надмолекулярный мир живой природы. Можно назвать такие методы, как метод ЯМР — метод рентгеноструктурного анализа, методы электронного микроскопирования, методы фракционирования и другие.

С помощью методов изотопных индикаторов (меченых атомов) удалось проследить процессы обмена веществ на всех стадиях обновления белков и липидов клеточных мембран, обмена углеводов и жиров, изучить биосинтез белков и нуклеиновых кислот, а также другие важные микропроцессы.

Рентгеноструктурный анализ позволил исследовать структуру и строение многих макромолекул, лежащих в основе жизнедеятельности живых организмов, в их числе ДНК и РНК.

В 2002 г. американский ученый Джон Фенн (р. 1917 г.) и японский Коити Таака (р. 1959 г.) были удостоены Нобелевской премии за существенное усовершенствование метода масс-спектрометрического анализа свойств и структур крупных биологических молекул.

В физико-химической биологии широко применяются несколько методов фракционирования различных компонентов живого вещества, основанных на том или ином физическом или химическом явлении, например, на образовании осадков, на ионном обмене, на различном поглощении отдельных компонентов смеси поверхностью твердых тел и др. И хотя живые организмы являются сложными объектами для исследования, все же современные технические средства позволяют все глубже и глубже проникать в их тайны. Целый ряд указанных и других физических методов взят на вооружение и современной медициной, например ультразвуковое зондирование, радиоспектроскопия и рентгеноскопия, томография.

Успехи молекулярной биологии за последние 50 лет огромны: расшифровка строения молекул ДНК, расшифровка генетического кода, открытие различных видов саморегуляции живых систем, механизма синтеза белков (ферментов), работы по искусственному синтезу генов, генная инженерия, клонирование животных и человека, а также работы по расшифровке генома человека.

И в настоящее время молекулярная генетика является одним из важнейших направлений молекулярной биологии. Свидетельством этому, например, является присуждение Нобелевской премии за 2002 г. по физиологии и медицине двум английским Сиднею Бреннеру (р. 1927 г.) и Джону Солстону (р. 1942 г.), известному также как один из основателей проекта расшифровки генома человека, и одному американскому Роберту Хорвину (р. 1847 г.), ученым за исследование генетической регуляции программирования гибели некоторой части клеток в развивающемся организме.

Результаты этих работ помогают понять механизмы возникновения некоторых болезней. Например, известно, что при СПИДе, инсультах, инфарктах миокарда происходит избыточная гибель клеток. А при некоторых раковых заболеваниях наблюдается обратное. Клетки, которые должны были гибнуть, выживают. Поэтому стимуляция процесса гибели раковых клеток путем активизации соответствующих генов является одним из перспективных путей борьбы с раком.

И, наконец, в заключение кратко остановимся на состоянии исследований по важнейшей проблеме биологии, а именно по проблеме происхождения жизни.

На протяжении всей истории биологи упорно искали причины и механизмы происхождения живого. В отсутствие научной теории происхождения жизни было сформулировано много умозрительных гипотез, стоящих в стороне от подлинной биологической науки. Большая часть таких гипотез не подтверждается фактическими данными и не согласуется с современными научными представлениями.

Вплоть до середины XX в. в арсенале биологии не было таких концепций, которые позволили бы содержательным образом интерпретировать происхождение жизни. Это стало возможным только в результате успехов молекулярной биологии, и происхождение жизни сейчас связывают со ступенями биохимической эволюции в следующей последовательности:

1. Первичные элементы (водород, углерод, кислород, азот и др.) образовались в результате ядерного синтеза в звездах.
2. На ранних стадиях развития Солнечной системы происходило образование органических молекул в результате химических реакций.

В лабораторных условиях удалось показать возможность абиогенного образования низко- и высокомолекулярных органических соединений (опыты С. Л. Миллера), а также полимерных агрегатов (опыты А. И. Опарина). Однако в лабораторных условиях не удалось синтезировать живое вещество. В настоящее время это объясняется невозможностью воспроизведения ранней многовековой биологической эволюции, т. е. создания

длительных условий перехода от химической к биологической эволюции.

3. Решающее значение в происхождении жизни имели возникновение и эволюция группы молекул РНК, способных к самовоспроизведению и синтезу белков. В первых клетках генетическая информация содержалась в РНК, и в качестве основных катализаторов выступали РНК и белки. Впоследствии функция хранителя информации перешла от РНК к ДНК.

Все основные биологические функции клеток, в том числе самовоспроизведение, обмен веществ, передача генетической информации, в настоящее время находят свое естественное научное объяснение на основе биофизики, биохимии и кибернетики.

2.3. Тенденции развития естествознания

2.3.1. Физика

Представляется, что в дальнейшем характер развития физики изменится. Серьезные достижения в науке ученых-одиночек станут маловероятными. Успехи могут быть достигнуты только усилиями больших коллективов ученых, располагающих сложнейшими, весьма дорогостоящими экспериментальными средствами.

Поэтому перспективы развития физики в значительной степени будут определяться возможностями привлечения материальных ресурсов и средств как в отдельных странах, так и по линии международного сотрудничества.

В качестве примера можно указать на организацию работ по изучению физики элементарных частиц (микромира) путем международного строительства мощнейшего ускорителя частиц на встречных пучках — коллайдера в Швейцарии на энергии ускоренных частиц до 10 трлн электронвольт (10^{13} эВ). Чтобы представить размеры этого сооружения, достаточно сказать, что частицы разгоняются в тоннеле длиной 27 км. А один из детекторов частиц АТЛАС представляет собой размещенный

под землей цилиндр длиной 26 м и диаметром 20 м, общим весом 7 тыс. т, со сложнейшей аппаратурой.

Другим примером сложнейшей установки по проекту ИТЕР, реализуемому в настоящее время, стоимостью 10 млрд долл., является прообраз термоядерного реактора будущего — гигантский токамак, в котором планируется достижение температуры плазмы до десятков миллионов градусов, когда возможно осуществление термоядерного синтеза легких элементов.

А для получения, например, астрофизической информации (изучения мегамира) коллективами ученых ряда стран разрабатываются сложнейшие комплексы для дистанционного исследования космических объектов во всем диапазоне длин электромагнитных волн от радио- и оптического до рентгеновского и γ -излучения. Проведение таких комплексных измерений планируется приводить во внеатмосферных условиях на международных космических станциях (МКС).

Можно указать также и целый ряд других крупных исследовательских международных программ, в числе которых комплексное изучение Мирового океана, глобальное изучение погодообразующих и климатообразующих факторов и т. д.

Можно ли сегодня представить основные направления развития физики в будущем? История развития физики показывает, что это сделать очень трудно, так как каждый период характеризуется, как правило, развитием новых направлений.

Например, XVII в. — век классической механики, XVIII–XIX вв. — период развития термодинамики и электродинамики (включая оптику), XX в. — век атомной и ядерной физики, век теории относительности и квантовой физики. Предсказать, каким будет XXI в., естественно, невозможно, но можно все же отметить те направления в области микро-, макро- и мегафизики, по которым уже был сделан определенный задел в XX в. и по которым сформулированы проблемы, ждущие своего решения в ближайшие 20–30 лет. Укажем некоторые из них.

Очевидно, что главное направление — это развитие исследований в области фундаментальных проблем теоретической

физики. В числе основных здесь можно выделить по крайней мере четыре проблемы.

Это, во-первых, создание теории Великого объединения — объединения в рамках единой теории трех (из четырех) фундаментальных взаимодействий в природе — слабого, электромагнитного и сильного. Определенный оптимизм вселяет то, что, как известно, в конце XX в. уже была создана единая теория двух взаимодействий — электромагнитного и слабого — теория электрослабых взаимодействий.

Во-вторых, в более отдаленное время, — объединение всех четырех фундаментальных взаимодействий (включая гравитационное) в рамках программы “супергравитация”.

В-третьих, всестороннее изучение так называемой третьей материальной субстанции (наряду с веществом и полем) — физического вакуума. На этом пути могут обнаружиться совершенно новые уникальные свойства материи, а также, возможно, и новые типы фундаментальных взаимодействий.

В-четвертых, развитие теории Большого взрыва с учетом новейших достижений физики элементарных частиц.

В области экспериментальных работ приоритетными на ближайшие десятилетия, по-видимому, будут те, в рамках которых могут реализоваться уже упомянутые технические проекты.

Например, продвижение исследований с помощью новых ускорителей в область все больших энергий позволит получить новые данные о процессах взаимодействия элементарных частиц, что, в частности, позволит развивать кварково-глюонную квантовую хромодинамику. А развитие физики высоких энергий в целом, включая ускорители и космические лучи (в которых присутствуют частицы гораздо больших энергий), с учетом некоторых уже известных астрофизических процессов, возможно, даст ответ на некоторые принципиально важные для теоретической физики вопросы. Среди них такие, как обнаружение монополя Дирака, установление факта распада протона, существование “скрытой материи” в природе, открытие гипотетических “частиц Хиггса”. В случае положительного или отрицательного исхода таких экспериментов могут быть существенно пересмотрены

многие из принятых сейчас теоретических схем, составляющих основу миропонимания.

Другим экспериментальным направлением работ, очевидно, будут исследования в области управляемого термоядерного синтеза. Более радикального решения энергетических проблем человечества, чем управляемый термоядерный синтез, в настоящее время не существует. Кроме того, следует подчеркнуть, что это также и наиболее экологически чистая энергия. И хотя эта проблема безуспешно решается более 50 лет, существует уверенность, что она все же будет решена, возможно, даже нетрадиционным способом. Сейчас наряду с традиционным развитием данного направления появляются некоторые альтернативные способы запуска термоядерной реакции, например, с помощью лазеров.

К сожалению, мощность современных лазеров не достаточна для этих целей. Но развитие и совершенствование лазерной техники открывает перспективы возможного решения многих проблем, в том числе и управляемого термоядерного синтеза.

Третьим экспериментальным направлением является экспериментальная астрофизика. Выход человечества в космос позволил сделать прорыв в изучении мегамира. Подобно тому, как изобретение микроскопа открыло окно в микромир, так и возможность проведения прямых атмосферных наблюдений в космосе во всех спектральных интервалах — от радиодиапазона до рентгеновских и γ -лучей — открывает для нас во всем многообразии мегамир.

Уже начальный этап таких исследований во второй половине XX в. привел к астрофизическим открытиям огромной важности. Обнаружен целый ряд новых космических объектов — пульсаров, квазаров, практически доказано существование черных дыр. Специалисты изучают и еще более экзотические объекты — космические структуры, обладающие уникальными свойствами и особенностями.

Мы являемся свидетелями быстрого увеличения объема наблюдательной, экспериментальной информации в области астрофизики. Сейчас становится очевидным, что получаемый

экспериментальный материал явится основой для крупных обобщений при создании новых фундаментальных теоретических построений, учитывающих особенности мегамира.

Ждет своего решения построение теории черных дыр, затем теории, объясняющей свойства удивительных объектов, — квазаров. По одной из гипотез, квазары — это ядра гигантских галактик. Полные энергосвыделения в них доходят до фантастической цифры в 10^{61} – 10^{62} эрг. Одним из источников такой гигантской энергии считается возможное высвобождение энергии гравитационного поля.

То есть мы видим, что в космическом пространстве могут идти процессы совсем другой природы и других масштабов, по сравнению с теми, которые происходят в земных условиях. Следует ожидать, что могут быть открыты принципиально новые законы и построены фундаментальные теории, описывающие явления, специфические для мегамира.

Возможно, что и в целом XXI в. будет в основном веком изучения мегамира (так же, как XX в. по праву считается веком изучения микромира). Во Вселенной могут присутствовать не обнаруженные еще новые виды материи, дающие свой вклад в среднюю плотность вещества. Сейчас считается, что средняя плотность вещества во Вселенной равна $3 \cdot 10^{-31}$ г/см³, а при такой плотности, по существующей модели, Вселенная расширяется. Если бы средняя плотность вещества была выше 10^{-29} г/см³, то расширение Вселенной сменялось бы сжатием.

Кроме того, из теории Большого взрыва следует, что к нашей эпохе первичные нейтрино, образованные в начальные моменты взрыва, должны иметь температуру порядка 2 К. Обнаружение этих нейтрино было бы крупным достижением астрофизики.

Одним из важнейших направлений исследований является также экспериментальное подтверждение существования гравитонов, имеющее принципиальное значение для дальнейшего развития общей теории относительности.

И наконец, космические программы предполагают во всех больших масштабах поиски внеземных цивилизаций.

Перечисляя основные направления развития физики в XXI в., нельзя не коснуться необходимости проведения огромного фронта научно-прикладных исследований.

Это и поиски новых и более эффективное освоение известных видов энергии, прежде всего солнечной. Это и дальнейшие исследования в области высокотемпературной сверхпроводимости. Получение сверхпроводящих веществ при комнатных температурах (в соответствии с существующими теориями принципиальных препятствий для этого нет) приведет к подлинной технической революции во многих отраслях техники.

Уже сейчас видны пути получения лазеров нового поколения, генерирующих излучение в области рентгеновского и γ -излучения, а также обеспечивающих огромные мощности: 10^{26} – 10^{27} Вт/см² (сейчас достигнуты мощности 10^{20} – 10^{21} Вт/см²). Под воздействием излучения такой мощности можно будет наблюдать рождение электронно-позитронных пар, и лазерный метод может стать одним из важнейших экспериментальных средств в области квантовой электродинамики.

Новые мощные лазеры, как уже отмечалось, возможно, помогут решить и проблему управляемого термоядерного синтеза.

Заканчивая рассмотрение основных перспективных направлений развития физики в XXI в., следует особо отметить, что она будет наукой нелинейных систем. Основанием для этого служат успехи нелинейной оптики, нелинейной акустики, успехи нелинейных динамических систем, относящихся к очень широкому классу явлений. Нелинейный подход и идеи, в частности, обоснованные И. Р. Пригожиным, могут придать существенное развитие принципам самоорганизации неживой и живой природы, и на этой основе — могут получить более глубокие основания принципы универсального эволюционизма.

2.3.2. Химия

Изучение истории химии и анализ ее состояния в настоящее время позволяют сформулировать общие тенденции ее развития в будущем, а также определить целый ряд конкретных

задач, решение которых диктуется потребностями сегодняшней практики.

Представляется, что общее развитие химии будет происходить по трем основным направлениям.

1. Химия все в большей степени будет интегрироваться с физикой и биологией, используя фундаментальные, теоретические идеи из физики (в частности математическое моделирование), а из биологии (использование механизмов синтеза новых веществ в живой природе).

2. В области фундаментальных исследований по-прежнему одной из главных задач остается разработка теорий катализа, поскольку удельный вес каталитических процессов в промышленном производстве новых веществ достигает 80%.

Из других направлений следует указать такие, как разработка теорий химических процессов при сверхвысоких давлениях. Пока что практически отсутствует теория магнетохимии. В начальном состоянии находятся теории плазмохимии, радиационной химии и теории управления многими важными химическими процессами. Весьма важным также является изучение неравновесных систем, что позволит прояснить многие вопросы механизма эволюции в неживой природе.

В области экспериментальных работ в химии получат дальнейшее развитие новые физические методы исследований. В этом отношении уже сейчас видны, например, следующие перспективные направления.

В химической кинетике весьма важным является изучение быстросредействующих переходных процессов образования и расхода молекул, которые происходят за время 10^{-6} – 10^{-12} с. Использование молекулярных пучков и лазеров позволяет продлить временной интервал вплоть до 10^{-14} с и таким образом проследить весь процесс химических реакций через переходные состояния до конечных продуктов.

Для изучения молекулярных структур очевидным перспективным направлением является использование синхронного излучения, импульсной высокочастотной техники, а также всех видов ионизирующих излучений. Важными средствами исследо-

вания по-прежнему будут рентгеноструктурный анализ, ЯМР, электронный парамагнитный резонанс (ЭПМР), томография в условиях экстремальных состояний реагирующих химических веществ.

3. Поиск новых источников энергии, а также механизмов и процессов для создания технологий замкнутых, экологически чистых систем с целью замены старых и получения новых экологически чистых веществ.

В первом случае важным направлением является изучение и использование способов преобразования солнечной энергии в химическую, т. е. механизмов фотосинтеза. Есть все основания полагать, что в недалеком будущем можно будет осуществить фотосинтез с высоким КПД (около 50%).

Одной из экологических проблем в последние десятилетия стала необходимость утилизации радиоактивных отходов атомной промышленности. Сейчас ясно, что в ближайшей перспективе хранилища атомных изотопов могут превратиться в места производства ценнейших элементов — платиноидов. Радиохимии предстоит в скором времени решить задачу выделения этих ценных металлов и очистки их от радиоактивных примесей.

На повестке дня стоит также решение задачи огромной практической важности. Речь идет об использовании во все больших масштабах в качестве исходного сырья в химических процессах тех элементов, которые наиболее распространены в природе, например, кремния. Одним из важных направлений в этом отношении является замена металлов различными видами керамики. Это, в частности, синтез кремнийорганических соединений, использование плазменных установок для производства металлобетона, создание на основе кремния новых полупроводников и высокотемпературных сверхпроводников.

И в заключение хочется отметить одно важное направление в развитии будущей химии. Это решение проблем, связанных с геной инженерией. Химии предстоит синтезировать многие гены, введение которых в ткани растений и животных позволит управлять различными биохимическими процессами в них. Одной из таких задач является синтез аммиака в растениях

путем прямого усвоения азота из воздуха. В данном случае путем генной инженерии в растения должен вводиться азотфиксирующий ген. Решение этой проблемы приведет к подлинной революции в сельском хозяйстве.

Можно указать также и другие примеры решения важных задач в этом направлении.

Из всего сказанного ясно, что химии предстоит внести большой вклад в решение теоретических и практических проблем естествознания.

2.3.3. Биология

Биология подошла к такому рубежу своего развития, что ей по плечу постановка и решение важнейшего вопроса, а именно создание теоретической биологии и на ее основе — единой теории жизни, включая вопросы ее происхождения.

Сейчас уже очевидны значительные успехи традиционной биологии, приведшие к открытию многочисленных законов живой природы, а также к построению целого ряда важнейших фундаментальных теорий, например, клеточной теории Швана и Шлейдана, эволюционной теории Дарвина, теоретических основ генетики Менделя–Моргана и др.

Что же касается теоретической биологии, то ее разработка находится пока еще на начальном этапе. По словам одного из крупных ученых-биологов XX в. Н. В. Тимофеева-Ресовского (1900–1981 гг.), “в настоящее время никакой теоретической биологии, сравнимой с теоретической физикой, нет”. До сегодняшнего времени эти слова остаются актуальными.

Однако важной особенностью настоящего периода является тенденция сближения биологии по многим направлениям с точными естественными науками — физикой и химией, что представляется весьма перспективным для создания теоретической биологии.

То же самое можно сказать и о создании теории жизни в целом, включая вопросы ее зарождения. Уже пройден большой путь в развитии этого направления, однако пока что еще много, казалось бы, очевидных вопросов ждут своих ответов. Так, мы до

сих пор не можем ответить, почему должен происходить обмен веществ, почему клетки живого организма должны делиться, что такое старение организма и что ограничивает предел его жизни, каким образом код ДНК формирует организм, в чем механизм “скачка” от неживого к живому, и т. д. и т. п. Стремительное развитие биологических знаний в последние десятилетия вселяет определенный оптимизм, что новое столетие даст ответ на все эти вопросы.

Помимо указанных самых общих вопросов развития теоретической биологии весьма важными представляются и другие направления, имеющие своей целью практическую реализацию достижений биологической науки. Прежде всего речь идет о самом широком внедрении достижений биологии в медицинскую практику и особенно в такую важнейшую область, как генная инженерия. В перспективе появляется возможность исключать ненужные гены или создавать новые искусственные органы для замещения больных. Это направление практической медицины ставит на совершенно другой уровень решение проблем борьбы со многими болезнями и даже проблемы борьбы со старением организма и возможности существенного продления жизни человека. Особое место занимают также вопросы клонирования, последствия которых невозможно даже представить.

И наконец, требует значительного внимания разработка современных концепций экологии, и очевидно безграничное поле деятельности для дальнейшей разработки теории и освоения всей ноосферы.

2.3.4. Единство естественных наук

Для естествознания начала нашего столетия характерно наличие тенденций интегрирования различных наук. При этом весьма важным аспектом единства естествознания является вопрос о моно- или полифундаментальности естествознания. Естествознание включает в себя множество самых различных дисциплин, изучающих качественно разные области: физику, химию, биологию, геологию и т. д. Обладают ли все эти науки (или некоторые из них) равным статусом фундаментальности

(т. е. полифундаментальностью) или только какая-то одна из них лежит в фундаменте всех других (монофундаментальность)?

Под фундаментальной наукой понимается дисциплина, не выводящая свои основные законы (и понятия) из какой-то другой науки, а обосновывающая их только ссылкой на свой опыт. Реально на статус фундаментальных наук в истории естествознания претендовали три дисциплины — физика, химия, биология.

Создание квантовой механики радикально изменило ситуацию. Открытие новых физических законов, управляющих движением электронов, позволило именно с точки зрения физики понять и объяснить химические свойства атомов. Специфические закономерности химии (закон Менделеева, теория строения атомов и молекул и др.) были не только не отброшены, а наоборот, подняты на новую ступень, так как был раскрыт внутренний механизм этих закономерностей. Однако следует подчеркнуть, что в данном случае не имеется в виду утрата химией своей важности, самостоятельности, значения (все это остается при ней), а лишь то обстоятельство, что ее основные понятия и законы получили физическое объяснение.

С биологией дело обстоит сегодня несколько иначе. Проблема отношения физики и биологии пока еще не имеет строгого естественно-научного решения, хотя и в этом отношении получены новые фундаментальные результаты в работах И. Р. Пригожина, М. Эйгена и др.

В отношениях физики и биологии могут быть две альтернативы:

1. Для объяснения основных особенностей жизни (биологических объектов) достаточно известных законов физики и химии.
2. В явлениях жизни мы встретимся с новыми физико-химическими свойствами, с которыми пока в неживой природе не встречались.

Если для объяснения основных явлений жизни окажется достаточно известных законов физики и химии, значит, эти явления подвергнутся отрицанию как именно специфические, жизненные явления. Это будет означать лишь раскрытие тех условий, при которых действие обычных законов физики и

химии ведет к появлению нового качества жизни, т. е. научное объяснение этого нового качества.

Какая же из указанных альтернатив предпочтительней? В настоящее время нет единой точки зрения на этот вопрос. Тем не менее по мере развития физики и биологии наблюдаются определенные тенденции в оценке складывающейся ситуации. Например, позиция видных биофизиков Л. А. Блюменфельда и М. В. Волькенштейна выражалась в 1974 г. следующим образом: “Для полного описания и понимания строения и функционирования всех существующих биологических систем в принципе вполне достаточно известных нам основных законов физики”¹.

С тех пор получил значительное развитие ряд разделов физики применительно к биологическим системам. В частности, физическое объяснение получили процессы деления живой клетки. Затем на основе развития неравновесной термодинамики и понятия энтропии И. Р. Пригожиным была построена первая успешная модель, дающая физическое обоснование важнейшей особенности органической эволюции, — естественного отбора (работы М. Эйгена).

В качестве примера необходимо указать работы Г. Хакена по синергетике. Синергетика — это область научных исследований, целью которых является выявление общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы (физических, химических, биологических, экологических и др.). Организованное поведение систем может обуславливаться внешними воздействиями (вынужденная организация) или являться результатом развития собственной внутренней неустойчивости в системе (самоорганизация). Основой синергетики служит единство явлений, моделей и методов, с которыми приходится сталкиваться при исследовании процессов “возникновения порядка из беспорядка”. Например, в космологии — образование

¹ Блюменфельд Л. Д. Проблемы биологической физики. — М.: Наука, 1974.

спиральных галактик; в экологии — организация и устойчивость сообществ. Модели синергетики — это упоминавшиеся уже модели неравновесных систем.

При анализе сложных систем, например, в биологии или экологии, синергетика исследует модели, позволяющие понять и выделить наиболее существенные механизмы “организации порядка”. Понятия и образы синергетики связаны в первую очередь с оценкой упорядоченности поведения, и следовательно, с таким понятием, как энтропия системы. Для многих задач синергетики построение теории сводится к созданию и анализу вероятностей статистической модели.

Таким образом, идеи термодинамики неравновесных процессов позволили пролить свет на ряд фундаментальных особенностей жизненных процессов, происходящих в термодинамических открытых системах, находящихся далеко от состояния равновесия.

В связи с исключительной важностью таких направлений исследований в ноябре 1995 г. при Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова был открыт новый институт — НИИ сложных математических систем имени И. Р. Пригожина.

Можно отметить своеобразную цикличность в развитии физики. Вначале (в античный донаучный период) физика понималась как учение о природе вообще. В XVI–XVIII вв. формируется научная физика (прежде всего механика) как частная, специальная дисциплина, наряду с которой складываются другие частные дисциплины: химия, геология, биология и т. д. В XX столетии снова восстанавливается всеобщий (в рамках естествознания) статус физики. Она становится той дисциплиной, на основе фундаментальных законов которой должны найти (и все в большей степени находят) конкретное научное объяснение все другие явления природы.

Причем это не только не наносит ущерба всем другим естественным наукам, их престижу, самостоятельности, значению, а наоборот, поднимает их с уровня во многом описательных дисциплин на действительно высокий теоретический уровень. Физика не поглощает, не ассимилирует другие науки, а образует их объяснительный базис.

Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ

3.1. Корпускулярная и континуальная концепции описания природы

Как известно, первый период становления естествознания относится к VII — IV вв. до н. э., к греческой натурфилософии. В течение этого периода вырабатываются общие точки зрения на окружающий мир, ставятся вопросы о природе материи и духа, о развитии материального мира и о законах этого развития, о природе пространства и времени, о природе движения, о природе света.

Возникают также такие натурфилософские концепции, как атомистика Левкиппа–Демокрита и натурфилософия Аристотеля.

Демокрит и Аристотель, по сути, обобщили античную натурфилософию и сформулировали две принципиально различные концепции взглядов на строение материи и развитие материального мира: так называемые корпускулярную (Демокрит) и континуальную (Аристотель) концепции описания природы.

По Демокриту, материя состоит из вещества; вещество состоит из атомов-корпускул и пустоты; атомы находятся в постоянном движении; атомы вечны, неизменны, неделимы и отличаются друг от друга лишь величиной и формой. Демокрит считал, что движение присуще материи. Звук, теплота, свет — это субстанции, которые излучаются телами в виде частиц — корпускул.

По Аристотелю, мир материален, но объективно существуют конкретные вещи (предметы), а материя — некая субстанция,

из которой при определенных условиях могут возникнуть те или иные предметы. Реальные тела можно дробить непрерывно, до бесконечности. Синонимом непрерывности является слово “континуальность”. По Аристотелю, материя непрерывна (континуальна) и “природа не терпит пустоты”.

Следует также отметить, что он первым стал рассматривать механическое движение тел в пространстве и во времени, а свет, например, представлял как движение в виде волн через некую среду — эфир.

Вывинутые две концепции природы материи, по существу, определили всю дальнейшую историю развития науки более чем на двухтысячелетний период, вплоть до XX в. нашего времени.

Развивая свою концепцию, Аристотель конкретизировал механизм образования различных веществ. Он считал, что в основе материальных вещей лежит непрерывная первоматерия, ее количество в природе неизменно. Первоматерии присущи четыре основных качества. Это тепло и холод, сухость и влажность. Разнообразие веществ зависит от сочетания этих качеств в различных пропорциях. Комбинируя качества попарно, Аристотель приходит к четырем элементам — земле, воде, огню и воздуху. Этот взгляд Аристотеля оказал большое влияние на развитие естествознания на более чем тысячелетний период, и в дальнейшем по-своему получил развитие в алхимии.

Напротив, учение Демокрита далеко опередило взгляды современников и вначале не получило понимания и только впоследствии, в результате развития научного естествознания, через много веков было признано.

К XVII в. стало очевидно, что главные цели алхимии — получение золота и “философского камня” — оказались недостижимыми. Становилось ясно, что существует некоторый предел возможных взаимопревращений веществ.

Постепенно наука освобождается от влияния учения Аристотеля, и начинает возрождаться античный атомизм Демокрита. Особенно важную роль здесь сыграли труды французского мыслителя П. Гассенди. Он возрождает представления о том, что материя состоит из постоянно движущихся атомов и пустоты,

которая является условием возможности движения атомов. Развитие и конкретное приложение идей атомизма осуществил английский физик и химик Р. Бойль.

Однако потребовалось еще около 100 лет, чтобы ученые окончательно избавились от Аристотелева представления о строении вещества и вышли на путь атомистического понимания явлений природы.

Затем, на рубеже XVIII и XIX вв. был открыт целый ряд важнейших законов химии, которые полностью утвердили атомно-молекулярную концепцию строения вещества. Среди них закон постоянства состава (закон Пруста), закон кратных отношений (Дальтон), закон простых объемных отношений (Гей-Люссак) и закон Авогадро. Таким образом, к середине XIX в. атомно-молекулярный взгляд на природу материи получил полное признание. Этим подводился итог развитию представлений того времени о природе вещества.

По-иному шла история развития представлений о природе света и оптических явлениях. Напомним, что Аристотель считал, что свет представляет собой движение волн, распространяющихся в некоторой непрерывной среде — эфире. Однако в дальнейшем И. Ньютон, бывший, как и большинство ученых того времени, сторонником атомно-корпускулярной концепции строения вещества, предположил, что свет представляет собой поток частиц-корпускул, движущихся прямолинейно. Такая точка зрения, в частности, хорошо объясняла законы геометрической оптики. Однако при изучении других оптических явлений накапливались такие факты и явления, которые, напротив, легко было объяснить, если считать, что свет — это волновое движение через некоторое необычное вещество — эфир (интерференция, дифракция, поляризация, дисперсия света).

Во второй половине XIX в. точку в вопросе о природе света поставил Дж. Максвелл, который, создав теорию электромагнетизма, доказал, что свет представляет собой электромагнитное поле, распространяющееся в виде волн. То есть была открыта новая материальная субстанция — поле, свойства и законы движения которой, согласно развитой Максвеллом электро-

динамике, соответствовали в большей мере континуальной, непрерывной концепции Аристотеля.

Таким образом, к концу XIX в. сложилась следующая ситуация в изучении природы материи. Материя предстала в виде двух форм — вещественной и полевой, с существенно разными свойствами, первая из которых находит объяснение в рамках корпускулярной концепции, а вторая — напротив, в рамках континуальной концепции.

А начало XX в. принесло столько неожиданностей в изучении вещества и полей, что полностью изменило представления о природе материи. Вначале это относилось к световым, электромагнитным явлениям: к излучению абсолютно черного тела и фотоэффекту. Как известно, М. Планку для объяснения излучения абсолютно черного тела в 1900 г. и А. Эйнштейну для объяснения фотоэффекта в 1905 г. пришлось допустить, что свет в ряде случаев ведет себя как поток отдельных частиц — фотонов (корпускул), а не как волна.

Так возникло представление о корпускулярно-волновом дуализме при рассмотрении электромагнитного поля. Причем при больших длинах волн электромагнитного излучения в большей мере проявляются непрерывные (континуальные) волновые свойства света, при малых длинах волн (рентгеновские и γ -лучи) — дискретные (корпускулярные), квантовые свойства. Так, физика начала XX в. открыла диалектическое единство двух классических противоположностей — частиц и волн.

После установления такого удивительного факта французский ученый Луи де Бройль, опираясь на законы симметрии в природе, в 1923 г. выдвинул совершенно радикальную идею — идею распространения принципа корпускулярно-волнового дуализма света также и на все вещественные частицы (имеющие массу покоя) микромира — электроны, протоны и т. д. То есть де Бройль предположил, что любые частицы вещественной материи наряду с корпускулярными свойствами (масса, импульс, энергия) обладают также волновыми.

Вскоре гипотеза де Бройля нашла замечательное экспериментальное подтверждение. Клинтон Дэвиссон (1881–1958 гг.) и

Лестер Джермер (1896–1971 гг.) открыли дифракцию электронов на кристаллах, т. е. доказали существование волновых свойств у частиц — электронов. А в дальнейшем дифракционные (волновые) явления были обнаружены и при изучении других атомных частиц. Оказалось, что наличие волновых свойств микрочастиц-корпускул — это универсальное явление, общее свойство материи.

Наконец, созданные в 20-е гг. XX в. новые фундаментальные квантовые теории микромира — квантовая механика и квантовая теория поля (квантовая электродинамика) показали, что корпускулярно-волновой дуализм в микромире отражает глубинную взаимосвязь материальных субстанций — вещества и полей и в конечном счете свидетельствует о единстве материи, проявляясь во взаимодействии частиц и полей таким образом, что кванты полей при взаимодействии с веществом могут исчезать, образуя пары вещественных частиц (электрон — позитрон, протон — антипротон), точно так же, как и вещественные частицы в результате аннигиляции могут превращаться в кванты полей.

Заключая раздел, можно сказать, что обе сформулированные еще древними греками концепции взглядов на природу материи, несмотря на кажущиеся противоречия между ними, оказались справедливыми, но только отражающими две разные стороны единой материи.

3.2. Порядок и беспорядок в природе, хаос

Обращая внимание на существующий порядок в природе, мы часто в качестве примера указываем на кристаллы, где в кристаллической решетке строго чередуются атомы вещества кристалла (например натрия и хлора в поваренной соли). Строго упорядоченной структурой являются и кристаллические металлы. В узлах кристаллической решетки меди располагаются положительные ионы.

Но наряду с существующим порядком в природе часто соседствует и беспорядок (хаос). В тех же кристаллах металлов,

наряду с упорядоченной ионной решеткой, имеются свободные электроны, которые беспорядочно и хаотично движутся.

Порядок и беспорядок наблюдаются и в космосе. С одной стороны, мы знаем, что планеты движутся по определенным орбитам со строго определенной скоростью. А с другой стороны, в космосе, помимо планет, имеется межзвездное вещество, которое хаотически движется в пространстве, и там, где образуются большие скопления этого вещества, возникают значительные гравитационные силы и могут образоваться звездные системы, т. е. системы с высокой степенью упорядоченности (порядка).

Последний пример указывает на существование процессов и механизмов, ведущих от беспорядка к порядку. Эту особенность подметили еще в древнегреческой мифологии, где под словом “хаос” понималось “беспредельная, первобытная материя”, из которой образовалось все сущее.

Еще больше можно привести примеров перехода от порядка, упорядоченности к хаосу. Так, если нагревать кристаллы поваренной соли, то амплитуда колебаний атомов увеличивается, связь между атомами уменьшается, упорядоченная структура кристалла разрушается и исчезает, и атомы начинают хаотически двигаться. Приведенный пример иллюстрирует процессы, связанные с действием одного из фундаментальных законов природы, имеющего универсальный характер, а именно со вторым началом термодинамики.

Суть этого закона заключается в том, что во всех тепловых процессах, связанных с выделением тепла в результате трения, прохождения электрического тока и как следствие с выделением тепла при горении, при экзотермических химических реакциях и т. д. тепло всегда в естественных условиях переходит от более горячего тела к более холодному, но не наоборот.

Имеется несколько формулировок этого закона. Одна из формулировок, принадлежащая основному создателю классической термодинамики Клаузиусу, гласит: “Невозможен процесс, при котором теплота переходила бы самопроизвольно от тел более холодных к телам более теплым”.

Другая формулировка связана с понятием энтропии, одной из термодинамических функций, определяющих направление протекания тепловых процессов. В процессах теплопередачи изменение энтропии (ΔS) определяется как $\Delta S = \Delta Q/T$, где ΔQ — количество переданного тепла; T — абсолютная температура.

Поскольку тепло всегда передается от теплого тела к холодному, то изменение количества тепла ΔQ — величина положительная, а следовательно и изменение энтропии ΔS — величина положительная, т. е. энтропия в таких процессах возрастает.

Этот закон носит всеобщий характер и формулируется таким образом: в замкнутых системах (без притока энергии извне) процессы протекают так, что энтропия системы возрастает.

Таким образом, второе начало термодинамики устанавливает в природе наличие фундаментальной асимметрии, т. е. односторонности всех происходящих самопроизвольных процессов.

В замкнутых системах самопроизвольно происходит необратимый процесс перехода от более упорядоченных структур к менее упорядоченным, к хаосу. А поскольку в таких процессах энтропия систем возрастает, то энтропию принято характеризовать как меру хаоса (рассеяния энергии).

Из второго начала термодинамики следует, что в природе возможно только одно направление процессов: от порядка к беспорядку, к хаосу.

Но такой вывод противоречит многим фактам. Известны процессы развития от неупорядоченности, хаоса к порядку, к структурам более высокой организации из структур, имеющих более низкую организацию.

Примером может служить эволюционное развитие живых организмов от примитивных до высокоорганизованных. Долгое время противоречие между вторым началом термодинамики и эволюционной теорией поступательного развития живой природы не находило разрешения.

Однако сейчас объяснение такому противоречию найдено. Дело в том, что второе начало термодинамики рассматривает

процесс только в замкнутых системах, в то время как живые системы являются открытыми, т. е. обмениваются энергией и веществом с внешней средой, а в открытых системах энтропия может как возрастать, так и уменьшаться, тогда как в целом для открытых систем вместе с внешней средой обитания второе начало термодинамики справедливо. То есть в открытой системе энтропия может уменьшаться за счет увеличения энтропии во внешней среде.

В результате при определенных неравновесных условиях в системе за счет внутренних перестроек могут возникнуть упорядоченные структуры. Эту особенность системы называют самоорганизацией, а сами структуры, возникающие в диссипативных (рассеивающих энергию) системах при неравновесных необратимых процессах, называются диссипативными (по терминологии Пригожина). Под действием флуктуаций возникают коллективные формы движения, новые структуры более высокой организации.

3.3. Структурные уровни организации материи: микро-, макро- и мегамиры

В настоящее время принято единую природу для удобства подразделять на три структурных уровня — микро-, макро- и мегамиры. Естественными, хотя отчасти и субъективными, признаками деления являются размеры и масса исследуемых объектов.

Микромир — это мир предельно малых, непосредственно не наблюдаемых микросистем с характерным размером от 10^{-8} см (размер атомов) и менее. Это атомы, атомные ядра, элементарные частицы.

Макромир — это мир макротел, начиная от макромолекул (размером 10^{-6} см и выше) до объектов, размерность которых соотносима с антропологическими масштабами, — миллиметры, сантиметры, километры — вплоть до размеров Земли.

Мегамир — мир объектов космического масштаба размером от 10^9 см до 10^{28} см. Этот диапазон включает размеры Земли, Солнечной системы, Галактики, Метагалактики.

И хотя указанные три уровня тесно взаимосвязаны и составляют единое целое, на каждом из этих уровней действуют свои специфические законы. В микромире действуют законы квантовой физики. В макромире — законы классического естествознания, прежде всего классической физики — механики, термодинамики, электродинамики. Законы мегамира основаны в первую очередь на общей теории относительности.

3.3.1. Микромир

Атомная физика

Еще Левкипп и Демокрит выдвинули гениальную догадку, что вещество состоит из мельчайших частиц, называемых атомами.

Научные основы атомно-молекулярного учения были заложены гораздо позднее в работах русского ученого М. В. Ломоносова, французских химиков Л. Лавуазье и Жозефа Пруста (1754–1826 гг.), английского химика Д. Дальтона, итальянского физика А. Авогадро и других исследователей.

Периодический закон Менделеева показал существование закономерной связи между всеми химическими элементами. До конца XIX в. в химии царило убеждение, что атом — это наименьшая неделимая частица простого вещества. Считалось, что при всех химических превращениях разрушаются и создаются только молекулы, атомы же остаются неизменными и не могут дробиться на части.

Кроме того, в конце XIX в. были сделаны открытия, показавшие сложность строения атома и возможность превращения одних атомов в другие. Первыми указаниями на сложную структуру атома были опыты немецких ученых Кирхгофа и Бунзена по изучению спектров испускания и поглощения различных веществ, опыты по изучению ионизации, открытие и

исследование так называемых “катодных лучей” и явления радиоактивности.

Кирхгоф и Бунзен обнаружили, что каждому химическому элементу соответствует характерный, присущий лишь этому элементу, набор спектральных линий в спектрах испускания и поглощения. Это означало, что свет испускается и поглощается отдельными атомами, а атом, в свою очередь, представляет собой сложную систему, способную взаимодействовать с электромагнитным полем.

Об этом же свидетельствовало явление ионизации атомов, обнаруженное при исследованиях электролиза и газового разряда. Это явление можно было объяснить, лишь предположив, что атом в процессе ионизации теряет часть своих зарядов или приобретает новые.

Свидетельством сложной структуры атома явились опыты по изучению катодных лучей, возникающих при электрическом разряде в сильно разряженных газах. Для наблюдения этих лучей из стеклянной трубки, в которую впаяны два металлических электрода, выкачивается, по возможности, весь воздух, затем сквозь нее пропускается ток высокого напряжения. При таких условиях от катода трубки перпендикулярно к его поверхности распространяются “невидимые” катодные лучи, вызывающие яркое зеленое свечение в том месте, куда они попадают. Катодные лучи обладают способностью приводить в движение легкоподвижные тела. Они отклоняются от своего первоначального пути в магнитном и электрическом поле.

Изучение свойств катодных лучей привело к заключению, что они состоят из мельчайших частиц, несущих отрицательный заряд. Позже удалось определить их массу и величину заряда. Оказалось, что масса частиц и величина их заряда не зависят ни от природы газа, остающегося в трубке, ни от вещества, из которого сделаны электроды, ни от прочих условий опыта. Эти частицы получили название электронов.

В катодных трубках электроны отделяются от катода под влиянием электрического поля. Но они могут возникать и вне всякой связи с электрическим полем. Так, например при электрон-

ной эмиссии металлы испускают электроны, при фотоэффекте многие вещества также выбрасывают электроны. Выделение электронов самыми разнообразными веществами указывает на то, что эти частицы входят в состав всех атомов. Следовательно, атомы являются сложными образованиями, построенными из более мелких “составных частей”.

В 1896 г., изучая люминесценцию различных веществ, А. Беккерель случайно обнаружил, что соли урана излучают свет без предварительного их освещения. Это излучение обладает большой проникающей способностью и воздействует на фотографическую пластинку, завернутую в черную бумагу. Оно было названо радиоактивным излучением, и позднее было установлено, что оно состоит из тяжелых положительно заряженных α -частиц, легких отрицательных β -частиц (электронов) и электрически нейтрального γ -излучения.

Открытие электрона можно считать началом рождения атомной физики. Делались попытки построения моделей атома. Поскольку электрон имеет отрицательный заряд, а атом в целом устойчив и должен быть электрически нейтральным, то естественно было предположить наличие в атоме положительно заряженных частиц.

Первые модели атома на основе представлений классической механики и электродинамики появились в 1904 г., одна из них принадлежала японскому физику Хантаро Нагаока (1865–1950 гг.), а другая английскому физику Дж. Томсону.

Нагаока представил строение атома аналогичным строению Солнечной системы: роль Солнца играет положительно заряженная центральная часть атома, вокруг которой по установленным кольцеобразным орбитам движутся “планеты” — электроны. При незначительных смещениях электроны возбуждают электромагнитные волны.

В атоме Томсона положительное электричество “распределено” по сфере, в которую вкраплены электроны. В простейшем атоме водорода электрон находится в центре положительно заряженной сферы. В многоэлектронных атомах электроны располагаются по устойчивым конфигурациям, рассчитанным

Томсоном. Томсон считал каждую такую конфигурацию определяющей химические свойства атомов. Он предпринял попытку теоретически объяснить периодический закон Менделеева.

Но вскоре оказалось, что новые опытные факты опровергают модель Томсона и, наоборот, свидетельствуют в пользу планетарной модели. Эти факты были установлены Э. Резерфордом в 1912 г. В первую очередь следует отметить открытие им ядерного строения атома. Для выявления структуры атома он стал производить его зондирование с помощью α -частиц. Эти частицы возникают при распаде радия и некоторых других радиоактивных элементов. Их масса примерно в 8000 раз больше массы электрона, а положительный заряд равен по модулю удвоенному заряду электрона.

В опытах Резерфорда пучок α -частиц падал на тонкую фольгу из исследуемого материала (золото, медь и проч.). После прохождения фольги α -частицы попадали на экран, покрытый сульфидом цинка. Столкновение каждой частицы с экраном сопровождалось сцинтилляцией (вспышкой света), которую можно было наблюдать. В отсутствие фольги на экране возникал светлый кружок, состоящий из сцинтилляций, вызванных пучком α -частиц. Но когда на пути пучка помещали фольгу, то вопреки ожиданиям α -частицы испытывали очень малое рассеяние на атомах фольги и распределялись на экране внутри круга чуть большей площади.

Совершенно неожиданным также оказалось, что небольшое число α -частиц (примерно 1 из 20 000) отклонилось на углы больше 90° , т. е. практически возвращались назад. Резерфорд понял, что положительно заряженная α -частица могла быть отброшена назад лишь в том случае, если в атомах мишени положительный заряд атома и его масса сконцентрированы в очень малой области пространства. Так Резерфорд пришел к идее атомного ядра — тела малых размеров, в котором сконцентрированы почти вся масса и весь положительный заряд атома.

Подсчитывая число α -частиц, рассеянных на углы больше 90° , Резерфорд смог оценить размеры ядра. Оказалось, что ядра имеют диаметр порядка $10^{-12} - 10^{-13}$ см. Размер же самого атома —

10^{-8} см, т. е. в он 10–100 тыс. раз превышает размеры ядра. Впоследствии удалось точно определить и заряд ядра. Если принять заряд электрона за единицу, то заряд ядра окажется в точности равен номеру данного химического элемента в периодической системе Д. И Менделеева.

Из опытов Резерфорда непосредственно вытекает планетарная модель атома с положительно заряженным атомным ядром. Учитывая, что в целом атом должен быть электронейтрален, следует заключить, что число внутриатомных электронов, как и заряд ядра, равно порядковому номеру элемента в периодической системе. Очевидно также, что находясь в покое электроны внутри атома не могут, так как они вследствие притяжения положительным ядром упали бы на него. Следовательно, они должны двигаться вокруг ядра, подобно планетам вокруг Солнца. Такой характер движения электронов определяется действием электрических кулоновских сил со стороны ядра.

В атоме водорода вокруг ядра обращается всего лишь один электрон. Ядро атома водорода имеет положительный заряд, равный по модулю заряду электрона, и массу, примерно в 1836 раза большую массы электрона. Это ядро было названо Резерфордом протоном и стало рассматриваться как элементарная частица. Размер атома определяется радиусом орбиты движения его электрона. Такая наглядная планетарная модель атома, как уже говорилось, является прямым следствием экспериментальных результатов Резерфорда по рассеянию α -частиц на атомах вещества.

Однако вскоре выяснилось, что такая простая модель атома противоречит законам электродинамики, из которых следует, что эта модель является неустойчивой системой и длительное время атом указанной конструкции существовать не может. Дело в том, что движение электронов по круговым орбитам происходит с ускорением, а ускоренно движущийся заряд, по законам электродинамики Максвелла, должен излучать электромагнитные волны с частотой, равной частоте его обращения вокруг ядра. Излучение сопровождается потерей энергии. Теряя энергию, электроны должны приближаться к ядру, подобно тому,

как спутник приближается к Земле при торможении в верхних слоях атмосферы.

В действительности, однако, этого не происходит. Атомы устойчивы, могут существовать неограниченно долго, совершенно не излучая электромагнитные волны.

Выход из создавшегося положения нашел выдающийся датский ученый Н. Бор. Он сделал радикальный вывод о том, что законы классической механики и электродинамики не применимы в микромире вообще и в частности в атоме. Тем не менее, чтобы сохранить планетарную модель атома Резерфорда, он сформулировал два постулата (постулаты Бора), идущие вразрез и с классической механикой, и с классической электродинамикой. Эти постулаты заложили основы принципиально новых теорий микромира — квантовой механики и квантовой электродинамики (квантовой теории электромагнитного поля). Обосновывая свои постулаты, Бор опирался на идею существования квантов электромагнитного поля, выдвинутую в 1900 г. Планком и затем развитую Эйнштейном (для объяснения фотоэффекта).

Постулаты Бора заключаются в следующем: электрон может двигаться вокруг ядра не по любым орбитам, а только по таким, которые удовлетворяют определенным условиям, вытекающим из теории квантов. Эти орбиты получили название устойчивых, или квантовых, орбит. Когда электрон движется по одной из возможных для него устойчивых орбит, то он не излучает энергию. Переход электрона с удаленной орбиты на более близкую сопровождается потерей энергии. Потерянная атомом при каждом переходе энергия превращается в один квант лучистой энергии. Частота излучаемого при этом света определяется радиусами тех двух орбит, между которыми совершается переход электрона. Чем больше расстояние от орбиты, на которой находится электрон, до той, на которую он переходит, тем больше частота излучения.

Простейшим из атомов является атом водорода: вокруг ядра вращается только один электрон. Исходя из приведенных постулатов, Бор рассчитал радиусы возможных орбит для этого электрона и нашел, что они относятся, как квадраты нату-

ральных чисел: $1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$. Величина n получила название главного квантового числа. Радиус ближайшей к ядру орбиты в атоме водорода равняется $0,53 \text{ \AA}$. Вычисленные отсюда частоты излучений, сопровождающих переходы электрона с одной орбиты на другую, оказались в точности совпадающими с частотами, найденными на опыте для линий водородного спектра. Этим была доказана правильность расчета устойчивых орбит для атома водорода, а вместе с тем — и приложимость постулатов Бора для таких расчетов.

В дальнейшем теория Бора была распространена и на атомную структуру других элементов. Однако распространение теории на многоэлектронные атомы и молекулы столкнулось с трудностями. Чем подробнее теоретики пытались описать движение электронов в многоэлектронном атоме, определить их орбиты, тем больше было расхождений результатов с экспериментальными данными. В ходе развития квантовой теории стало ясно, что эти расхождения носят принципиальный характер и связаны с так называемыми “волновыми свойствами” электрона.

Луи де Бройль распространил известный к тому времени принцип корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного поля на вещественные частицы микромира (атомы, электроны, протоны и т. д.). Напомним, что, согласно его идее, частицы (имеющие массу, заряд и т. д.) обладают и волновыми свойствами. При этом длина волны де Бройля (λ) связана с импульсом частиц p и равна $\lambda = \frac{h}{p}$, где h — постоянная Планка.

В дальнейшем идея де Бройля нашла блестящее подтверждение в опытах К. Девисона и Л. Джермера (1927 г.), где наблюдалось явление дифракции электронов — классический пример волнового явления.

Развивая волновые идеи частиц микромира, Эрвин Шредингер (1887–1961 гг.) создал математическую волновую модель атома в виде знаменитого сейчас волнового дифференциального уравнения Шредингера

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{h} [E - U(x)]\Psi(x) = 0,$$

где E и $U(x)$ — соответственно полная и потенциальная энергия частиц;

m — масса частиц;

h — постоянная Планка;

$\Psi(x)$ — волновая функция.

Анализ волнового уравнения Шредингера показал, что с его помощью можно определить все возможные дискретные значения энергии в атоме. Кроме того, было выяснено, что волновая функция $\Psi(x)$ не позволяет абсолютно точно определить положение электронов в атомах, они расплываются в некое “облако”, и можно говорить лишь о вероятности нахождения частиц в том или ином месте атома, а квадрат амплитуды волны $|\Psi(x)|^2$ характеризует вероятность нахождения электронов в том или ином месте атома.

Учитывая законы квантовой волновой механики, стало ясно, почему оказалось невозможным точно описать структуру атома на основе представлений о боровских орбитах электронов в атоме. Таких точно локализованных орбит в атомах просто не существует.

В настоящее время на основе квантовой механики, а также квантовой электродинамики — квантовой теории электромагнитного поля, разработанной в 1927 г. Полем Дираком (1902–1984 гг.), удалось объяснить многие особенности поведения многоэлектронных атомно-молекулярных систем. В частности, удалось разрешить важнейший вопрос о структуре атомов различных элементов и установить зависимость свойств элементов от строения электронных оболочек их атомов.

В настоящее время разработаны схемы строения атомов всех химических элементов. Эти схемы позволяют объяснить многие физические и химические свойства элементов.

Как уже было сказано, число электронов, вращающихся вокруг ядра атома, соответствует порядковому номеру элемента в периодической системе. Электроны расположены по слоям. Каждому слою принадлежит определенное число заполняющих или как бы насыщающих его электронов. Электроны одного и того же слоя характеризуются близкими значениями энергии, т. е. находятся примерно на одинаковом энергетическом уровне. Вся

оболочка атома распадается на несколько энергетических уровней (n). Электроны каждого следующего слоя находятся на более высоком энергетическом уровне, чем электроны предыдущего слоя. Максимальное число электронов (N), могущих находиться на данном энергетическом уровне (n), равно $N = 2n^2$. То есть на первом уровне ($n = 1$) может находиться 2 электрона, на втором ($n = 2$) — 8 электронов, на следующем уровне — 18.

Электроны наружного слоя как наиболее удаленные от ядра и, следовательно, наименее прочно связанные с ядром, могут отрываться от атома и присоединяться к другим атомам, входя в состав наружного слоя последних. Атомы, лишившиеся одного или нескольких электронов, становятся заряженными положительно, так как заряд ядра атома превышает сумму зарядов оставшихся электронов.

Атомы, наоборот, присоединившие электроны, становятся заряженными отрицательно. Образующиеся таким путем заряженные частицы называются ионами. Многие ионы, в свою очередь, могут терять или присоединять электроны, превращаясь при этом или в электронейтральные атомы, или в новые ионы с другим зарядом.

Подводя итог рассмотрения основных результатов квантово-механических подходов к строению и структуре атомов, отметим следующее. Состояние каждого электрона в атоме характеризуется четырьмя квантовыми числами — n , l , m , s .

1) n — главное квантовое число, оно характеризует энергию электрона на соответствующей орбите;

2) l — орбитальное квантовое число, оно характеризует форму орбиты — “электронного облака” и может изменяться в атоме от 0 до $n - 1$;

3) m — магнитное квантовое число, оно характеризует ориентацию орбит — “электронных облаков” — в пространстве; может принимать значения от $+l$ до $-l$;

4) s — спиновое квантовое число, оно характеризует вращение электрона вокруг собственной оси; может принимать только два значения: $+\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$.

Согласно одному из важнейших принципов квантовой механики, сформулированному швейцарским физиком Вольфгангом Паули (1900–1958 гг.), в атоме не может быть электронов, у которых все четыре квантовых числа были бы одинаковы. В рамках квантовой механики получили полное объяснение как структура атомов, так и изменение свойств химических элементов в периодической системе Менделеева.

Плодотворным оказалось применение квантовой механики также к физическим полям. Была построена квантовая теория электромагнитного поля — квантовая электродинамика, вскрывшая целый ряд фундаментальных законов микромира. Среди них важнейшие законы превращения двух видов материальных субстанций — вещественной и полевой материи друг в друга.

Свое место в ряду элементарных частиц занял фотон — частица электромагнитного поля, не имеющая массы покоя.

Синтез квантовой механики и специальной теории относительности привел к предсказанию существования античастиц. Оказалось, что у каждой частицы должен быть как бы свой “двойник” — другая частица с той же массой, но с противоположным электрическим или каким-либо другим зарядом. Английский физик Поль Дирак предсказал существование позитрона и возможность превращения фотона в пару электрон — позитрон и обратно. Позитрон — античастица электрона экспериментально был открыт в 1932 г. Карлом Дейвидом Андерсоном (1905–1991 гг.) в космических лучах.

3.3.2. Ядерная физика

По современным представлениям, атомные ядра элементов состоят из протонов и нейтронов. Первые указания на то, что в состав ядер входят протоны (ядра атомов водорода), были получены Резерфордом в 1919 г. в результате его нового (после открытия строения атома) сенсационного открытия — расщепления атомного ядра под действием α -частиц и получения новых химических элементов в результате первой искусственной ядерной реакции.

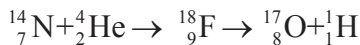
В одном из вариантов своих опытов, в котором была использована камера Вильсона, наполненная азотом, внутри которой находился источник α -излучения, Резерфорд получил фотографии треков α -частиц, на конце которых имелось характерное разветвление — вилка, одна из сторон вилки давала короткий трек, а другая — длинный. Длинный трек имел такие же особенности, как и треки, наблюдавшиеся ранее Резерфордом при бомбардировке α -частицами атомов водорода. Из этого он сделал вывод, что в опытах с азотом образуются ядра водорода.

Резерфорд считал, что атомы с большим пробегом, возникающие при столкновении α -частиц с азотом, являются не атомами азота, а, по всей вероятности, атомами водорода. Значит, атом азота распадается при столкновении с быстрой α -частицей и что освобождающийся водородный атом образует часть атома азота.

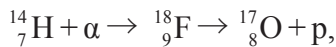
Так впервые была высказана мысль, что ядра водорода представляют собой составную часть ядер других атомов, т. е. протон.

Схема реакции Резерфорда может быть представлена следующим образом: α -частица (ядро гелия ${}^4_2\text{He}$) попадает в атомное ядро азота ${}^{14}_7\text{N}$ и поглощается им. Образующееся при этом промежуточное ядро изотопа фтора ${}^{18}_9\text{F}$ оказывается неустойчивым: оно выбрасывает из себя один протон, превращаясь в ядро изотопа кислорода ${}^{17}_8\text{O}$.

Обычно эту реакцию записывают так:



или

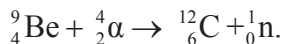


где p — излученный ядром атома азота протон.

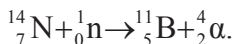
В 1932 г. Д. Д. Иваненко (1904–1994 гг.) опубликовал заметку, в которой высказал предположение, что наряду с протоном структурным элементом ядра является также нейтрон. В следующем, 1933 г. он обосновал протонно-нейтронную модель ядра и сформулировал основной тезис, заключающийся в том, что в ядре имеются только тяжелые частицы — протоны и ней-

троны. При этом обе частицы могут превращаться друг в друга. В дальнейшем протон и нейтрон стали рассматривать как два состояния одной частицы — нуклона.

А в том же 1933 г. Д. Чедвик экспериментально доказал существование нейтронов в атомных ядрах. Он облучал α -частицами бериллиевую пластинку и исследовал реакцию превращения бериллия (Be) в углерод (C) с испусканием нейтрона (n) в соответствии с реакцией



Нейтроны, вылетающие из бериллия, направлялись в камеру Вильсона, наполненную азотом (N), и при попадании нейтрона в ядро атома азота образовывались ядро бора (B) и α -частицы по схеме:



Сам нейтрон не дает трека в камере Вильсона, но по трекам ядра бора и α -частицы можно рассчитать, что данная реакция вызвана нейтральной частицей массой в одну атомную единицу массы, т. е. нейтроном.

Отметим, что свободный нейтрон существует недолго, он радиоактивен, период полураспада его около 8 мин, и он превращается в протон, испуская β -частицу (электрон) и нейтрино. После открытия нейтрона протон-нейтронная модель строения атомных ядер Иваненко стала общепризнанной.

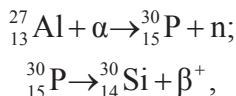
Все ядерные реакции сопровождаются испусканием тех или иных элементарных частиц. Продукты ядерных реакций оказываются радиоактивными, их называют искусственно радиоактивными изотопами.

Как и естественно радиоактивные вещества, искусственные радиоактивные изотопы также испускают α -, β - и γ -излучения. Но кроме этих излучений Фредерик и Ирен Жолио-Кюри открыли новый вид радиоактивности — испускание положительных электронов — позитронов.

Впервые это удалось установить с помощью камеры Вильсона при бомбардировке α -частицами некоторых легких

элементов (бериллия, бора, алюминия), в результате чего был искусственно создан целый ряд новых радиоактивных изотопов, не наблюдаемых в природе. Примером образования позитронного радиоактивного изотопа может служить реакция бомбардировки алюминия α -частицами. В данном случае ядро алюминия ${}_{13}^{27}\text{Al}$ испускает нейтрон и превращается в ядро радиоактивного изотопа фосфора ${}_{15}^{30}\text{P}$. Этот изотоп, испуская позитрон β^+ , превращается в стабильный изотоп кремния ${}_{14}^{30}\text{Si}$.

Реакция идет по схеме:



где n — нейтрон.

В промышленном масштабе искусственные радиоактивные изотопы обычно получают путем облучения (главным образом нейтронного) соответствующих химических элементов в ядерных реакторах.

После того как было установлено, что ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, теория атомного ядра получила дальнейшее развитие в направлении изучения вопросов взаимодействия частиц внутри ядра, а также структуры атомных ядер различных элементов.

Ниже приведены основные сведения о свойствах и строении ядер:

1. Ядром называется центральная часть атома, в которой сосредоточена практически вся масса атома и его положительный электрический заряд. Все атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, которые считаются двумя зарядовыми состояниями одной частицы — нуклона. Протон имеет положительный электрический заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и массу покоя $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг. Нейтрон не имеет электрического заряда, его масса немного больше массы протона: $m_n = 1,6746 \cdot 10^{-27}$ кг.

Массу ядер элементарных частиц обычно выражают в атомных единицах массы (а.е.м.). За атомную единицу массы

принята $1/12$ массы изотопа углерода $^{12}_6\text{C} : 1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Следовательно, $m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.}$, а $m_n = 1,00866 \text{ а.е.м.}$

2. Зарядом ядра называется величина Ze , где e — величина заряда протона; Z — порядковый номер соответствующего ядру химического элемента в периодической системе Менделеева, равный числу протонов в ядре. В настоящее время известны ядра с зарядом Z от 1 до 114. Для легких ядер отношение числа нейтронов (N) к числу протонов (Z) близко или равно единице, для ядер химических элементов, расположенных в конце периодической системы, отношение $N : Z = 1,6$.

3. Общее число нуклонов в ядре $A = N + Z$ называется массовым числом. Нуклонам (протону и нейтрону) приписывается массовое число, равное единице. Ядра с одинаковым числом протонов Z , но различным числом нейтронов N называются изотопами. Ядра, которые при одинаковом числе A имеют различные числа Z , называются изобарами. Ядра химических элементов принято обозначать символом ^A_ZX , где X — символ химического элемента.

Всего известно около 300 устойчивых изотопов химических элементов и более 2000 естественных и искусственно полученных радиоактивных изотопов.

Все изотопы одного химического элемента имеют одинаковое строение электронных оболочек. Поэтому у изотопов данного элемента одинаковы все химические свойства. В настоящее время установлено, что большинство химических элементов, встречающихся в природе, представляет собой смесь изотопов. Поэтому указанные в таблице Менделеева атомные массы элементов часто значительно отличаются от целых чисел.

4. Размер ядра характеризуется радиусом ядра, имеющим условный смысл ввиду размытости границы ядра. Эмпирическая формула для радиуса ядра $R = R_0 A^{1/3}$, где R_0 — расстояние порядка 10^{-15} м , на котором велико сильное взаимодействие. Это соотношение показывает, что объем ядра пропорционален числу нуклонов в нем.

5. Ядерные частицы имеют собственные магнитные моменты, которыми определяется магнитный момент ядра в целом. Единич-

цей измерения магнитных моментов ядер служит ядерный магнетон $\mu_{\text{яд}} = \frac{e\hbar}{2m_p}$, где e — абсолютная величина заряда электрона; \hbar — постоянная Дирака, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; m_p — масса протона. Ядерный магнетон в 1836,5 раза меньше магнитного момента электрона в атоме, отсюда следует, что магнитные свойства атомов определяются магнитными свойствами его электронов.

6. Распределение электрического заряда протонов по ядру в общем случае несимметрично. Мерой отклонения этого распределения от сферически симметричного является квадрупольный электрический момент ядра Q . Если плотность ядра считать везде одинаковой, то величина Q определяется только формой ядра.

Нуклоны, составляющие ядро, связаны между собой особыми силами притяжения — ядерными силами. Устойчивость атомных ядер большинства элементов говорит о том, что ядерные силы исключительно велики: они должны превышать значительные кулоновские силы отталкивания, действующие между протонами, расположенными на расстояниях порядка 10^{-13} см (порядок размеров ядра). Ядерные силы являются силами особого рода, связанными с существованием внутри ядра особого вида материи — ядерного поля.

В настоящее время принята мезонная теория ядерных сил, согласно которой нуклоны взаимодействуют друг с другом путем обмена особыми элементарными частицами — π -мезонами (пионами) — квантами ядерного поля.

Наличие таких обменных частиц в ядре — мезонов — вначале было предсказано теоретически японским ученым Х. Юкавой в 1936 г., а затем открыто в космических лучах в 1947 г.

Общая характеристика ядерных сил следующая:

1. Ядерные силы являются короткодействующими силами. Они проявляются лишь на весьма малых расстояниях между нуклонами в ядре порядка 10^{-15} м. Длина $(1,5 \div 22) \cdot 10^{-15}$ м называется радиусом действия ядерных сил.

2. Ядерные силы обнаруживают зарядовую независимость: притяжение между двумя нуклонами одинаково независимо от

зарядового состояния нуклонов — протонного или нуклонного. Зарядовая независимость ядерных сил видна из сравнения энергий в зеркальных ядрах. Так называются ядра, в которых одинаково общее число нуклонов, но число протонов в одном ядре равно числу нейтронов в другом.

3. Ядерные силы обладают свойством насыщения, которое проявляется в том, что нуклон в ядре взаимодействует лишь с ограниченным числом ближайших к нему соседних нуклонов. Именно поэтому наблюдается линейная зависимость энергий связи ядер от их массовых чисел A . Практически полное насыщение ядерных сил достигается у α -частицы, которая является очень устойчивым образованием.

Нуклоны прочно связаны в ядре ядерными силами. Для разрыва этой связи, т. е. для полного разобщения нуклонов, нужно совершить значительную работу. Энергия, необходимая для разобщения нуклонов, составляющих ядро, называется энергией связи ядра. Величину энергии связи можно определить на основе закона сохранения энергии и закона пропорциональности массы и энергии в соответствии с формулой Эйнштейна $E = mc^2$.

Согласно закону сохранения энергии, энергия нуклонов, связанных в ядре, должна быть меньше энергии разобращенных нуклонов на величину энергии связи ϵ . С другой стороны, согласно закону пропорциональности массы и энергии, изменение энергии системы ΔW должно сопровождаться пропорциональным изменением массы системы на Δm , т. е. $\Delta W = \Delta m c^2$, где c — скорость света в вакууме.

Так как в данном случае величина ΔW и есть энергия связи ядра, масса атомного ядра должна быть меньше суммы масс нуклонов, составляющих ядро, на величину Δm , которая называется дефектом массы ядра. Из соотношения $\Delta W = \Delta m c^2$ можно рассчитать энергию связи ядра, если известен дефект массы этого ядра Δm .

В качестве примера рассчитаем энергию связи ядра атома гелия. Оно состоит из двух протонов и двух нейтронов. Масса протона $m_p = 1,0073$ а.е.м., масса нейтрона $m_n = 1,0087$ а.е.м.

Следовательно, масса нуклонов, образующих ядро, равна $2 m_p + 2 m_n = 4,0320$ а.е.м. Масса же ядра атома гелия $m_{\text{я}} = 4,0016$ а.е.м. Таким образом, дефект масс атомного ядра гелия равен $\Delta m = 4,0320 - 4,0016 = 0,03$ а.е.м., или $\Delta m = 0,03 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \approx 5 \cdot 10^{-29}$ кг. Тогда энергия связи ядра гелия равна

$$\Delta W = \Delta m c^2 = 5 \cdot 10^{-29} \cdot 9 \cdot 10^{16} \approx 28 \text{ МэВ.}$$

Общая формула для расчета энергии связи любого ядра (Дж) будет иметь вид

$$\Delta W = c^2 ([Zm_p + (A - Z) m_n] - m_{\text{я}}),$$

где Z — атомный номер;

A — массовое число.

Энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон, называется удельной энергией связи ε . $\varepsilon = \frac{\Delta W}{A}$. Следовательно, удельная энергия связи характеризует устойчивость атомных ядер. Чем больше показатель ε , тем устойчивее ядро.

На рис. 5 представлены результаты расчетов удельных энергий связи для разных атомов (в зависимости от массовых чисел A).

Из рис. 5 следует, что удельная энергия связи максимальна (8,65 МэВ) у ядер с массовыми числами порядка 100. У тяжелых и у легких ядер она несколько меньше (например, 7,5 МэВ у урана и 7 МэВ у гелия), у атомного ядра водорода ${}^1_1\text{H}$ удельная энергия связи равна нулю, что вполне понятно, потому что в этом ядре нечего разобщать: оно состоит только из одного нуклона (протона).

Всякая ядерная реакция сопровождается выделением или поглощением энергии. При делении тяжелых ядер с массовыми числами A порядка 100 (и более) происходит выделение энергии (ядерной энергии).

Выделение ядерной энергии происходит и при ядерных реакциях иного типа — при объединении (синтезе) нескольких легких ядер в одно ядро.

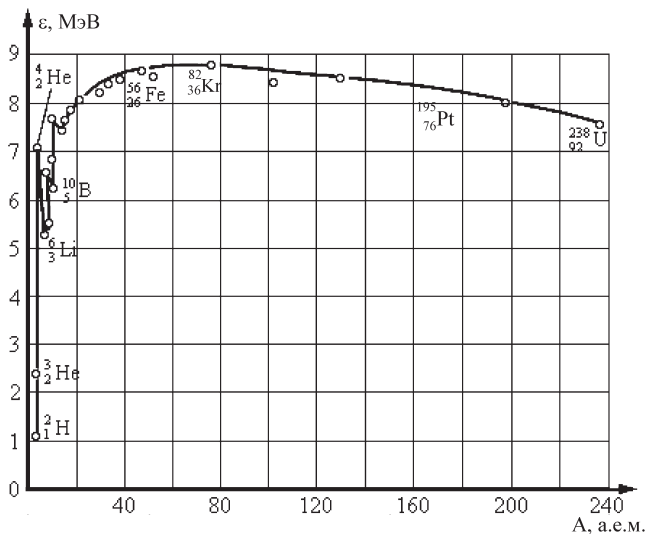


Рис. 5. Зависимость удельных энергий связи от массовых чисел

Таким образом, выделение ядерной энергии происходит как при реакциях деления тяжелых ядер, так и при реакциях синтеза легких ядер. Количество ядерной энергии $\Delta\varepsilon$, выделяемое каждым прореагировавшим ядром, равно разности между энергией связи ε_2 продукта реакции и энергией связи ε_1 исходного ядерного материала:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1.$$

Это положение является весьма важным, поскольку на нем основаны промышленные способы получения ядерной энергии.

Отметим, что наиболее выгодной в отношении энергетического выхода является реакция синтеза ядер водорода ^1_1H или дейтерия D (изотопа водорода ^2_1H), поскольку в данном случае разность энергий связи синтезируемого ядра и исходных ядер будет наибольшей.

3.3.3. Элементарные частицы

Элементарными называют частицы, которые, как принято считать, не состоят из более простых частиц. Сначала ими счита-

лись атомы. Затем, после работ Резерфорда и Бора, стало ясно, что атомы состоят из более мелких частиц.

Вскоре были открыты сотни таких частиц, которые можно было сгруппировать, и совсем недавно считалось, что все частицы можно отнести к двум группам частиц: адронам и лептонам. Причем в каждую их этих групп могли входить много разных частиц. К адронам, в частности, относили протоны и нейтроны, к лептонам — электроны, μ - и τ -мезоны и нейтрино.

Но сейчас уже известно, что адроны состоят из кварков и антикварков — частиц с дробными электрическими зарядами. Всего имеется шесть видов (или “ароматов”) кварков, обозначаемых первыми буквами соответствующих английских слов u (up), d (down), c (charm), s (strange), t (top), b (beauty). Например, нуклоны состоят из трех кварков: протон — из кварков uud, нейтрон — из кварков udd.

В табл. 1 и 2 приведены все частицы, считающиеся сегодня элементарными, — это 12 фермионов (частиц с полуцелым спином $s = \frac{1}{2}$) и 4 бозона (частицы с целым спином $s = 1$). У каждого заряженного фермиона есть своя античастица. В табл. 1 также приведены массы частиц в единицах энергии (в соответствии с соотношением $E = mc^2$).

Таблица 1

Масса покоя фундаментальных частиц — фермионов

Частицы		Поколения			Заряд частиц
		первое	второе	третье	
Кварки	Верхние (up)	5 МэВ	1300 МэВ	176 ГэВ	$+\frac{2}{3}$
	Нижние (down)	10 МэВ	150 МэВ	4,3 ГэВ	$-\frac{1}{3}$
Лептоны	Нейтрино	Меньше 10 эВ	Меньше 170 кэВ	Меньше 24 МэВ	0
	Заряженные частицы	0,51 МэВ (электрон)	105,7 МэВ (мюон)	1777 МэВ (тау-лептон)	-1

Таблица 2

Масса покоя фундаментальных векторных бозонов

Фотон γ	Глюон g	Нейтральный слабый бозон Z^0	Заряженные слабые бозоны W^+, W^-
Меньше 10^{-15} эВ	0	91,2 ГэВ	80,4 ГэВ

В табл. 1 указаны три поколения фермионов. Практически нас интересует только первое поколение (u и d), поскольку реальный вещественный мир — мир протонов и нейтронов, входящих в состав ядер атомов, состоит из трех кварков первого поколения.

Однако, согласно теоретическим моделям, без фермионов второго и третьего поколений не может быть нарушена так называемая СР-инвариантность, т. е. во Вселенной на всех стадиях эволюции было бы равное количество частиц и античастиц (электронов и позитронов, протонов и антипротонов). Все они в результате аннигиляции превратились бы в фотоны и нейтрино, и не было бы того мира, в котором мы живем.

В табл. 2 приведены характеристики четырех фундаментальных векторных бозонов. Заряженные бозоны W^+ и W^- являются античастицами по отношению друг к другу, поэтому рассматриваются как единое целое.

Физика элементарных частиц базируется также на понятии о фундаментальных взаимодействиях: гравитационном, электромагнитном, сильном и слабом.

Электромагнитное взаимодействие обусловлено обменом фотонами, которые изучены лучше всех бозонов. Источником фотонов является электрический заряд. Гравитационное взаимодействие связано с пока гипотетическими частицами — гравитонами.

Нейтральный (Z^0) и заряженные (W^+ , W^-) бозоны являются переносчиками слабого взаимодействия между электронами, протонами, нейтронами и нейтрино.

Переносчиками сильного взаимодействия являются глюоны. Они как бы “склеивают” кварки в адронах. Источниками глюонов являются так называемые “цветовые” заряды. Они не

имеют никакого отношения к обычным цветам и названы так для удобства описания. Каждый из шести “ароматов” кварков существует в трех цветовых разновидностях: желтой, синей или красной. Антикварки несут цветовые антизаряды. Важно подчеркнуть, что три заряда и три антизаряда совершенно не зависят от “ароматов” кварков.

Таким образом, в настоящее время полное число кварков и антикварков (с учетом трех цветов и шести “ароматов”) достигло 36. Кроме того, имеется еще 9 глюонов. Глюоны, как и кварки, не наблюдаются в свободном состоянии.

Существование кварков и глюонов приводит к появлению нового состояния вещества, которое носит название кварк-глюонная плазма. Это плазма, состоящая не из электронов и ионов, как обычная плазма, а из кварков и глюонов, слабо взаимодействующих друг с другом или не взаимодействующих вообще.

Одной из главных задач микрофизики, о решении которой мечтал еще А. Эйнштейн, является создание единой теории поля, которая объединила бы все известные фундаментальные взаимодействия. Создание такой теории означало бы фундаментальный прорыв во всех областях науки. Однако сейчас мы находимся только на подходе к этому.

К настоящему времени создана и признана теория, которая объединяет два фундаментальных взаимодействия — слабое и электромагнитное. Она называется единой теорией слабого и электромагнитного (электрослабого) взаимодействия и утверждает, что существуют особые частицы — переносчики взаимодействия между электронами, протонами, нейтронами, нейтрино. Эти частицы, названные бозонами W^+ , W^- и Z^0 , были теоретически предсказаны в 70-х гг. прошлого века и экспериментально обнаружены в 1983 г. на ускорителе в ЦЕРНе (Европейский центр ядерных исследований, Швейцария).

Теория сильного взаимодействия именуется квантовой хромодинамикой. Эта теория, описывающая взаимодействие кварков и глюонов, построена по образу квантовой электродинамики, которая, в свою очередь, описывает электромагнитные

взаимодействия, обусловленные обменом фотонами. В отличие от электрически нейтральных фотонов, глюоны являются носителями “цветовых” зарядов. Это приводит к тому, что при попытке развести их в пространстве энергия взаимодействия возрастает. В результате глюоны и кварки не существуют в свободном состоянии: они “самозапираются” внутри адронов.

Современную теорию элементарных частиц, состоящую из теорий электрослабого взаимодействия и квантовой хромодинамики, принято называть стандартной моделью (standard model). Эта сложная, но уже почти законченная феноменологическая теория — главный теоретический инструмент, с помощью которого решаются задачи микрофизики.

Великое объединение — так называют теоретические модели, исходящие из представлений о единой природе сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия. Оно призвано объединить все существующие частицы: фермионы, бозоны и скалярные частицы. В рамках теории Великого объединения хорошо объясняются многие очень важные явления, такие как, например, наблюдаемые барионная асимметрия Вселенной, малая ненулевая масса покоя нейтрино, квантование электрического заряда и существование решений типа магнитных монополей Дирака.

По последним данным, среднее время жизни протона больше $1,6 \cdot 10^{33}$ лет. Доказательство нестабильности протона явилось бы открытием фундаментальной важности. Однако пока этот распад не зафиксирован. Ученые надеются, что дальнейшее развитие моделей Великого объединения приведет к объединению всех взаимодействий, включая и гравитационное (суперобъединение). Но это — дело будущего.

В микрофизике известна и играет важную роль фундаментальная длина, называемая планковской, или гравитационной, длиной, $l_p = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см. Считается, что длины меньше планковской в природе не существует. Совместно с планковским временем t_p , приблизительно равным 10^{-43} с, они составляют пространственно-временные кванты, которые призваны лечь в основу будущей квантовой теории гравитации.

В настоящее время наименьшей “прицельный параметр”, достигнутый на современных ускорителях, — фундаментальная длина — l_f составляет около 10^{-17} см. Таким образом, можно заключить, что вплоть до расстояния l_p , приблизительно равного 10^{-17} см, и времени l_f/c , приблизительно равного 10^{-27} с, существующие пространственно-временные координаты справедливы. Значение l_f отличается от значения l_p на целых 16 порядков. Поэтому вопрос о фундаментальной длине еще остается актуальным для науки.

С первой половины XX столетия, когда объектами изучения микрофизики были атом, а затем атомное ядро, для того чтобы понять поведение электронов в атомах, пришлось совершить подлинную революцию в науке — создать квантовую механику. Микрофизика занимала тогда в естествознании совершенно особое место. Благодаря ее успехам мы смогли разобраться в строении вещества. Микрофизика — это фундамент современной физической науки.

3.3.4. Макромир

От микромира к макромиру

Теория строения атома дала химии ключ к познанию сущности химических реакций и механизма образования химических соединений — более сложного молекулярного уровня организации вещественной материи по сравнению с элементной атомной формой.

Квантовая механика позволила решить очень важный вопрос о расположении электронов в атоме и установить зависимость свойств элементов от строения электронных оболочек их атомов. В настоящее время разработаны схемы строения атомов всех химических элементов. При построении этих схем ученые исходили из общих соображений об устойчивости различных комбинаций электронов. И естественно, что путеводной нитью служил им периодический закон Менделеева.

При разработке схем строения атомов всех элементов учитывалось следующее. Во-первых, принималось, что число электронов в атоме равно заряду атомного ядра, т. е. порядковому номеру элементов в периодической системе. Во-вторых, вся электронная оболочка распадается на несколько слоев, соответствующих определенным энергетическим уровням $n = 1, 2, 3, 4 \dots$. В-третьих, на каждом уровне n может находиться не более N электронов, где $N = 2n^2$.

В-четвертых, состояние каждого электрона в атоме определяется совокупностью четырех квантовых чисел n, ℓ, m и s .

В соответствии с принципом Паули все электроны в атоме отличаются друг от друга хотя бы одним квантовым числом. В атоме нет двух электронов, у которых были бы одинаковы все квантовые числа. В соответствии с указанными замечаниями построены упрощенные схемы строения атомов, изображенные на рис. 6 для первых трех периодов таблицы Менделеева.

Несмотря на условность и простоту этих схем, они, тем не менее, достаточны для многих химических целей.

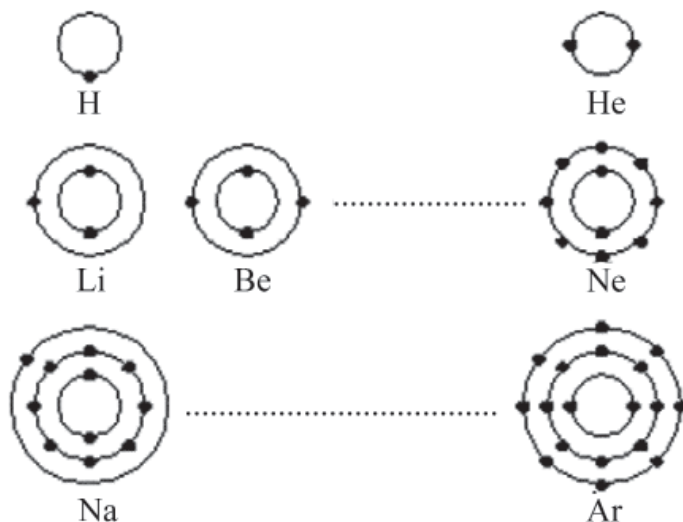


Рис. 6. Электронная схема строения атомов

Так, например, на первом энергетическом уровне ($n = 1, l = 0, m = 0$) могут находиться только два электрона, отличающиеся своими спиновыми числами $s: +\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$. Других электронов при $n = 1$ быть не может. Это соответствует тому, что если на первом уровне имеется один электрон, то это — атом водорода, если два электрона, то это — атом гелия. Оба эти элемента заполняют первый ряд таблицы Менделеева.

Второй ряд таблицы Менделеева занимают элементы, электроны которых расположены на втором энергетическом уровне ($n = 2$). Всего на этом уровне может быть восемь электронов ($N = 2 \cdot 2^2 = 8$).

Действительно, при $n = 2$ могут быть следующие состояния: если $l = 0$ и $m = 0$, то может быть два электрона с противоположными спинами; если $l = 1$, то квантовое число m может принимать три значения: $-1; 0; +1$, и каждому значению m соответствует также по два электрона с разными спинами. Таким образом, всего будет восемь электронов. Второй ряд элементов таблицы Менделеева, у которых последовательно добавляется по одному электрону на втором уровне, следующий — литий, бериллий, бор, углерод, азот, кислород, фтор, неон.

При главном квантовом числе $n = 3$ квантовое число l может принимать три значения: $0; 1; 2$, и каждому соответствует несколько значений квантового числа m :

- при $l = 0$ $m = 0$;
- при $l = 1$ $m = -1; 0; +1$;
- при $l = 2$ $m = -2; -1; 0; +1; +2$.

Так как всего может быть девять значений квантового числа m , а каждому состоянию m соответствуют два электрона со значениями $s: +\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$, то всего на третьем ($n = 3$) энергетическом уровне может быть 18 электронов ($N = 2 \cdot 3^2 = 18$).

Третий ряд таблицы Менделеева соответствует последовательному заполнению электронами внешнего уровня у следующих элементов — натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, серы, хлора, аргона.

Следующие ряды периодической системы соответствуют более сложным правилам заполнения внешних уровней атомов электронами, поскольку при увеличении общего числа электронов в атомах начинают проявляться коллективные взаимодействия между разными группами электронов, расположенных на разных уровнях атомов. Это приводит к необходимости учитывать ряд более тонких эффектов, что и сделано для всех атомов периодической системы Менделеева.

Выяснение строения электронных оболочек атомов оказало влияние и на саму структуру периодической системы, несколько изменив существовавшее до тех пор подразделение элементов на периоды. Прежде каждый период начинался с инертного газа, причем водород оставался вне периодов. Но теперь стало ясно, что новый период должен начинаться с того элемента, в атоме которого впервые появляется новый электронный слой в виде одного валентного электрона (водород и щелочные металлы), и заканчиваться тем элементом, в атоме которого этот слой имеет восемь электронов, образующих очень прочную электронную группировку, свойственную инертным газам.

Теория строения атомов разрешила также вопрос о положении в периодической системе редкоземельных элементов, которые ввиду их большого сходства друг с другом нельзя было распределить по различным группам. Атомы этих элементов отличаются друг от друга строением одного из глубже лежащих электронных слоев, в то время как число электронов в наружном слое, от которого главным образом зависят химические свойства элемента, у них одинаково. По этой причине все редкоземельные элементы (лантаноиды) помещены теперь вне общей таблицы.

Но основное значение теории строения атомов заключалось в раскрытии физического смысла периодического закона, который во времена Менделеева был еще неясен. Достаточно взглянуть на таблицу расположения электронов в атомах химических элементов, чтобы убедиться, что с увеличением зарядов атомных ядер постоянно повторяются одни и те же комбинации электронов в наружном слое атома. Таким образом, периодическое из-

менение свойств химических элементов происходит вследствие периодического возвращения к одним и тем же электронным группировкам.

Теперь установим более точно, в какой зависимости от строения электронных оболочек находятся химические свойства атомов.

Рассмотрим сначала изменение свойств в периодах. В пределах каждого периода (кроме первого) металлические свойства, наиболее резко выраженные у первого члена периода, при переходе к последующим членам постепенно ослабевают и уступают место металлоидным свойствам: в начале периода стоит типичный металл, в конце — типичный металлоид и за ним инертный газ.

Закономерное изменение свойств элементов в периодах может быть объяснено следующим образом. Наиболее характерным свойством металлов с химической точки зрения является способность их атомов легко отдавать внешние электроны и превращаться в положительно заряженные ионы, тогда как металлоиды, наоборот, характеризуются способностью присоединять электроны с образованием отрицательных ионов.

Для отрыва электрона от атома с превращением последнего в положительный ион нужно затратить некоторую энергию, которая называется потенциалом (энергией) ионизации.

Потенциал ионизации имеет наименьшее значение у элементов, начинающих период, т. е. у водорода и щелочных металлов, и наибольшее — у элементов, заканчивающих период, т. е. у инертных газов. Величина его может служить мерой большей или меньшей “металличности” элемента: чем меньше потенциал ионизации, чем легче оторвать электрон от атома, тем сильнее должны быть выражены металлические свойства элемента.

Величина потенциала ионизации зависит от трех причин: от величины заряда ядра, от радиуса атома и от особого рода взаимодействия между электронами в электрическом поле ядра, вызванного их волновыми свойствами. Очевидно, что чем больше заряд ядра и чем меньше радиус атома, тем сильнее притягивается электрон к ядру, тем больше потенциал ионизации.

У элементов одного и того же периода при переходе от щелочного металла к инертному газу заряд ядра постепенно возрастает, а радиус атома уменьшается. Следствием этого и являются постепенное увеличение потенциала ионизации и ослабление металлических свойств. У инертных газов, хотя радиусы их атомов больше, чем радиусы атомов галогенов, стоящих в том же периоде, потенциалы ионизации больше, чем у галогенов. В этом случае сильно сказывается действие третьего из вышеупомянутых факторов — взаимодействия между электронами, вследствие чего внешняя электронная оболочка атома инертного газа имеет особую энергетическую устойчивость, и удаление из нее электрона требует значительно большей затраты энергии.

Присоединение электрона к атому металлоида, превращающее его электронную оболочку в устойчивую оболочку атома инертного газа, сопровождается выделением энергии. Величина этой энергии при расчете на 1 грамм-атом элемента служит мерой так называемого сродства к электрону. Чем больше сродство к электрону, тем легче атом присоединяет электрон. Сродство атомов металлов к электрону равно нулю — атомы металлов не способны присоединять электроны. У атомов же металлоидов сродство к электрону тем больше, чем ближе к инертному газу стоит металлоид в периодической системе. Поэтому в пределах периода металлоидные свойства усиливаются по мере приближения к концу периода.

В повседневной жизни нам не приходится иметь дело с атомами. Окружающий нас мир построен из объектов, образованных из гигантского числа атомов, в виде твердых тел, жидкостей, газов. Следовательно, нашим следующим шагом должно быть изучение того, как атомы взаимодействуют друг с другом, образуя молекулы, а затем и макроскопическое вещество. Даже человеческая индивидуальность (и вообще поведение всех живых организмов) является результатом различий в структурах гигантских молекул, несущих генетическую информацию.

Молекулы состоят из одинаковых или различных атомов, соединенных между собой межатомными химическими связями. Устойчивость молекул свидетельствует о том, что химические

связи обусловлены силами взаимодействия, связывающими атомы в молекулу.

Силы межатомного взаимодействия возникают между внешними электронами атомов. Потенциалы ионизации этих электронов значительно меньше, чем у электронов, находящихся на внутренних оболочках.

Нахождение конкретных формул химических соединений значительно упрощается, если воспользоваться понятием валентности элемента, т. е. свойством его атомов присоединять к себе или замещать определенное число атомов другого элемента.

Понятие валентности распространяется не только на отдельные атомы, но и на целые группы атомов, входящих в состав химических соединений и участвующих как одно целое в химических реакциях. Такие группы атомов получили название радикалов.

Физические основы химических связей в молекулах вещества

Природа сил, обуславливающих связь между атомами в молекулах, долгое время оставалась неизвестной. Только с развитием учения о строении атома появились теории, объясняющие причину различной валентности элементов и механизм образования химических соединений на основе представлений об электронных оболочках. Все эти теории основываются на существовании связи между химическими и электрическими явлениями.

Остановимся прежде всего на отношении веществ к электрическому току. Одни вещества являются проводниками электрического тока как в твердом, так и в жидком состоянии: таковы, например, все металлы. Другие вещества в твердом состоянии ток не проводят, но электропроводны в расплавленном виде. К ним принадлежит огромное большинство солей, а также многие окислы и гидраты окислов. Наконец, третью группу составляют вещества, не проводящие ток ни в твердом, ни в жидком состоянии. Сюда относятся почти все металлоиды.

Опытным путем установлено, что электропроводность металлов обусловлена движением электронов, а электропроводность расплавленных солей и им подобных соединений — движением ионов, имеющих противоположные заряды. Например, при прохождении тока через расплавленную поваренную соль к катоду движутся положительно заряженные ионы натрия Na^+ , а к аноду — отрицательно заряженные ионы хлора Cl^- . Очевидно, что в солях ионы существуют уже в твердом веществе, расплавление лишь создает условия для их свободного движения. Поэтому такие соединения получили название ионных соединений. Вещества, практически не проводящие ток, не содержат ионов: они построены из электрически нейтральных молекул или атомов. Таким образом, различное отношение веществ к электрическому току является следствием различного электрического состояния частиц, образующих эти вещества.

Указанным выше типам веществ отвечают два различных типа химической связи:

а) ионная связь, иначе называемая электровалентной (между противоположно заряженными ионами в ионных соединениях);

б) атомная, или ковалентная, связь (между электронейтральными атомами в молекулах всех остальных веществ).

Ионная связь. Такого типа связь осуществляется между противоположно заряженными ионами и образуется в результате простого электростатического притяжения ионов друг к другу.

Положительные ионы образуются путем отщепления электронов от атомов, отрицательные — путем присоединения электронов к атомам.

Так, например, положительный ион Na^+ образуется при отщеплении от атома натрия одного электрона. Так как в самом внешнем слое атома натрия находится только один электрон, то естественно предположить, что именно этот электрон как наиболее удаленный от ядра и отщепляется от атома натрия при превращении его в ион. Подобным же образом ионы магния Mg^{++} и алюминия Al^{+++} получаются в результате отщепления от ато-

мов магния и алюминия соответственно двух и трех внешних электронов.

Напротив, отрицательные ионы серы и хлора образуются путем присоединения к этим атомам электронов. Поскольку внутренние электронные слои в атомах хлора и серы заполнены, дополнительные электроны в ионах S^{2-} и Cl^{-} , очевидно, должны были занять места во внешнем слое.

Сравнивая состав и строение электронных оболочек ионов Na^{+} , Mg^{++} , Al^{+++} , мы видим, что у всех этих ионов они одинаковы, — такие же, как у атомов инертного газа неона Ne.

В то же время ионы S^{2-} и Cl^{-} , образующиеся в результате присоединения электронов к атомам серы и хлора, имеют такие же электронные оболочки, как и атомы аргона Ar.

Таким образом, в рассмотренных случаях превращения атомов в ионы электронные оболочки ионов уподобляются оболочкам атомов инертных газов, наиболее близко к ним расположенных в периодической системе.

Современная теория химической связи объясняет это тем, что электронные группировки в атомах инертных газов (два электрона в наружном слое атома гелия и восемь электронов в атомах остальных инертных газов) являются особенно устойчивыми. Именно вследствие устойчивости этих группировок инертные газы и не способны вступать в соединение с другими элементами. Атомы, имеющие в наружном слое менее восьми электронов, стремятся приобрести структуру инертных газов, отдавая “лишние” электроны или пополняя их число в своем наружном слое до восьми за счет электронов других атомов. Это и происходит при образовании большинства химических соединений, состоящих из ионов.

Процесс образования химического соединения ионного типа из атомов можно представить себе следующим образом.

Сначала атомы превращаются в разноименно заряженные ионы вследствие перехода электронов от одного атома к другому, а затем уже ионы взаимно притягиваются, образуя соединение с ионной связью.

Положим, например, что атомы натрия, имеющие в наружной оболочке только один электрон, встречаются с атомами хлора, наружная оболочка которых содержит семь электронов. Атомы натрия отдают свои “лишние” электроны атомам хлора, превращаясь в положительные однозарядные ионы с электронной конфигурацией инертного газа неона. В то же время атомы хлора, присоединившие к своему наружному слою по одному электрону, становятся отрицательными однозарядными ионами со структурой атомов аргона. После этого сила электрического притяжения между разноименными зарядами связывает образовавшиеся ионы друг с другом, в результате чего получается соль — хлористый натрий (рис. 7).

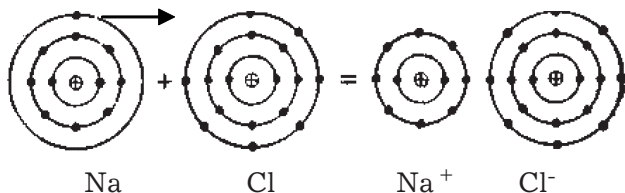


Рис. 7. Схема образования хлористого натрия

Изложенные выше представления о механизме образования ионных соединений приводят к заключению, что валентность элементов в ионных соединениях характеризуется числом электрических зарядов их ионов. Иначе ее называют электровалентностью.

Величина электровалентности определяется числом электронов, отданных атомом при образовании положительного иона или присоединившихся к нему при образовании отрицательного иона. В первом случае электровалентность считается положительной, во втором — отрицательной.

Способность атомов превращаться в положительные или отрицательные ионы зависит от положения соответствующих элементов в периодической системе. Атомы элементов, стоящих в начале периода, имеют меньший заряд ядра, чем атомы элементов, находящиеся в конце периода. В первом случае электроны притягиваются слабее, чем во втором, поэтому склонность

атомов к превращению в положительные ионы, вообще говоря, уменьшается в периоде в направлении слева направо.

Атомная связь. Предположение об электростатическом притяжении между противоположно заряженными ионами как о причине возникновения химической связи явно неприменимо к молекулам простых веществ (водорода H_2 , кислорода O_2 и др.), а также к молекулам веществ, образованных близкими по химическим свойствам элементами, так как в этом случае трудно допустить возникновение противоположно заряженных ионов. Поэтому по отношению к таким веществам была выдвинута другая теория их образования, получившая название теории ковалентных связей. При разработке этой теории тоже учитывалась химическая устойчивость атомов инертных газов.

Согласно теории ковалентных связей при образовании молекул (как и при образовании ионных соединений) атомы химических элементов приобретают устойчивые электронные оболочки, подобные оболочкам атомов инертных газов. Однако устойчивость эта достигается не путем перехода электронов от одних атомов к другим, а путем образования одной или нескольких пар электронов, которые становятся общими для соединяющихся атомов, т. е. входят одновременно в состав электронных оболочек двух атомов. Можно представить себе, что эти “спаренные” электроны вращаются по орбитам, охватывающим ядра обоих атомов, и таким образом связывают атомы в молекулу.

Химическая связь, обусловленная наличием электронных пар, называется ковалентной, или атомной, связью в отличие от электровалентной, или ионной, связи, основанной на электростатическом притяжении между разноименно заряженными ионами.

Предположение о паре электронов, как бы “обслуживающей” два ядра, как о причине возникновения ковалентной связи получило обоснование в волновой механике. Два положительно заряженных ядра можно рассматривать как одно ядро с большим зарядом, чем у каждого из ядер в отдельности. Электрон, вращающийся вокруг такого комбинированного ядра, удерживается более сильно, чем если бы он вращался вокруг одного из

ядер. Этим объясняется то, что образование ковалентных связей энергетически более выгодно.

Новая орбита движения электрона в молекуле называется молекулярной.

Движение электронов по молекулярным орбитам подчиняется тому же принципу запрета Паули, что и движение по атомным орбитам. Поэтому на одной и той же молекулярной орбите не может быть больше двух электронов, причем они должны иметь противоположные спины. Электроны с одинаковыми спинами на одной и той же молекулярной орбите находиться не могут. Вот почему каждая ковалентная связь образована лишь парой электронов.

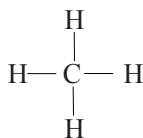
Образование молекулярных орбит является с точки зрения волновой механики следствием “перекрывания” атомных орбит. В результате такого перекрывания наибольшая электронная плотность в молекулярной орбите, если ее представить как электронное облако, оказывается между ядрами. Это значит, что электроны при движении по орбите наиболее часто попадают в область, находящуюся между ядрами. Между ядрами создается как бы прослойка из отрицательно заряженных частиц, способствующая сближению ядер. Поэтому чем сильнее “перекрываются” атомные орбиты при образовании молекулярных орбит, тем прочнее связь. Валентность, или, точнее, ковалентность, элемента в данном соединении определяется числом электронов его атома, идущих на образование общих, или “связующих”, электронных пар.

Итак, ковалентная связь между атомами в молекулах обуславливается наличием одной или нескольких общих пар электронов. Так как при образовании ковалентной связи, как правило, не происходит ни потери, ни присоединения электронов к атомам, то понятно, что молекулы с ковалентной связью не содержат ионов. Примером молекул с ковалентной связью может служить вода H_2O .

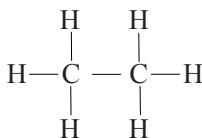
Одним из элементов, образующих ковалентные связи, является углерод. Углерод участвует в молекулярных структурах почти всегда с четырьмя ковалентными связями.

Большая часть животного и растительного мира образована соединениями углерода С с водородом Н и некоторыми другими элементами, прежде всего с азотом N, кислородом O, фосфором P и серой S. Эти соединения первоначально называли органическими соединениями, в отличие от ионных (неорганических) соединений, так как по своему химическому составу все животные и растения почти на 98% состоят из указанных шести химических элементов.

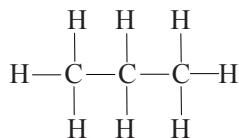
Простейшими из органических молекул являются углеводороды, состоящие только из атомов углерода и водорода. Приведем некоторые из них.



Метан

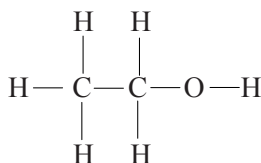


Этан



Пропан

Каждая черточка — ковалентная связь, осуществляемая двумя электронами. При комнатной температуре первые четыре вещества углеводородного ряда — газы, следующие десять — жидкости, а все последующие — твердые вещества — парафины. Сложные органические соединения содержат ряд других элементов. Так, все кислоты (например, лимонная) и все спирты (например, этиловый) содержат кислород.



Этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

Многие молекулы в живой природе, в частности молекулы белков, чрезвычайно сложны. Несмотря на это в последнее

время были достигнуты большие успехи в определении состава, структуры и функции этих молекул. В частности, многое стало известно о структуре ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты), несущей генетическую информацию. Хотя ее молекула может содержать до миллиона атомов, ДНК точно воспроизводится при делении клеток, что обеспечивает в ряду поколений клеток и организмов передачу наследственных признаков и специфических форм обмена веществ.

После того как была выяснена природа сил, приводящих к объединению атомов в молекулы, то есть выяснена природа “химизма”, проявляющаяся в огромном многообразии химических превращений вещества, в том числе приводящая к образованию многоатомных сложных молекул, стал ясен механизм первой ступени самоорганизации материи в природе — от более простых атомных систем к гораздо более сложным молекулярным системам. Диапазон известных молекулярных структур огромен — от двухатомных молекул типа H_2 , O_2 до молекул, состоящих из сотен и тысяч атомов, — макромолекул органических соединений — белков и нуклеиновых кислот.

Из огромной совокупности разных молекул состоит все неживое и живое вещество природы — макротела. Количественные изменения при переходе от микрообъектов (атомов, молекул) к макротелам — большой совокупности микросистем, — приводят к существенным качественным изменениям в поведении и, следовательно, в описании этих объектов исследования.

На макроуровне принято отдельно рассматривать вещественную и полевую материю.

Вещество может находиться в четырех агрегатных состояниях (твердые тела, жидкости, газы, плазма). Все явления и процессы в макромире связаны с процессами сохранения и преобразования одних форм движения в другие на основе двух всеобъемлющих законов — закона сохранения и превращения энергии и закона возрастания энтропии.

Указанные макропроцессы изучаются в рамках так называемой физической картины мира — в виде законов механики, статистической физики, термодинамики и электродинамики. А всю совокупность явлений макромира изучают многочисленные естественно-научные дисциплины (физика, химия, геология, биология и т. д.).

3.3.5. Мегамиры

Объектами мегамира являются тела космического масштаба. Это — кометы, метеориты, астероиды — малые планеты, планеты, Солнечная система, звезды — нейтронные, белые и желтые карлики, красные гиганты, черные дыры, квадизвезды — квазары, галактики, наша Галактика — Млечный Путь, Метагалактика, Вселенная.

Огромные расстояния между космическими объектами вызывают необходимость ввода новых величин для расстояний.

1. Астрономическая единица (а.е.) — среднее расстояние от Земли до Солнца. $1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$.

2. Световой год (св. год) — расстояние, которое проходит свет за один год. $1 \text{ св. год} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$.

3. Парсек (пк) — расстояние, которое в 3,26 раза больше светового года: $1 \text{ ПК} = 3,26 \cdot 9,46 \cdot 10^{15} = 3,1 \cdot 10^{16} \text{ м} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км}$.

Космология

Учение о мегамире как о едином целом и всей охваченной астрономическими наблюдениями области Вселенной (Метагалактике), называется космологией. Выводы космологии основываются на законах физики и данных наблюдательной астрономии. Космологические теории различаются в зависимости от того, какие физические принципы и законы кладутся в основу космологии. Построенные на их основе модели должны допускать проверку для наблюдаемой области Вселенной; выводы теории должны подтверждаться наблюдениями (во всяком случае не противоречить им); теория должна предсказывать новые явления.

В конце XX в. этому требованию наилучшим образом удовлетворяли разработанные на основе общей теории относительности однородные изотропные модели нестационарной “горячей” Вселенной. Возникновение современной космологии связано с созданием релятивистской теории тяготения (А. Эйнштейн, 1915 г.) и зарождением внегалактической астрономии (с 1920-х гг.).

На первом этапе развития релятивистской космологии главное внимание уделялось геометрии Вселенной.

Начало второго этапа можно датировать работами 1920-х гг. А. А. Фридмана (1868–1925 гг.), в которых было показано, что Вселенная, заполненная тяготеющим веществом, не может быть стационарной — она должна расширяться или сжиматься; но эти принципиально новые результаты получили признание лишь после открытия в 1929 г. *красного смещения* (эффекта “разбегания” галактик) астрономом Эдвином Хабблом (1889–1953 гг.).

В результате на первый план выступили проблемы механики Вселенной и ее “возраста” (длительности расширения).

Третий этап начинается моделями “горячей” Вселенной (Г. Гамова и др.), в которых основное внимание переносится на физику Вселенной — состояние вещества и физические процессы, идущие на разных стадиях расширения Вселенной, включая наиболее ранние стадии.

В основе модели лежат уравнения общей теории относительности Эйнштейна, из них следуют наличие кривизны пространства-времени и связь кривизны с плотностью вещества.

Космологические уравнения допускают существование двух моделей. В одной из них кривизна трехмерного пространства отрицательна или (в пределе) равна нулю, Вселенная бесконечна (открытая модель). В такой модели расстояние между скоплениями галактик со временем неограниченно возрастает. В другой модели кривизна пространства положительна, Вселенная конечна (но столь же безгранична, как и в открытой модели). В такой (замкнутой) модели расширение со временем сменяется сжатием. В ходе эволюции Вселенной кривизна трехмерного пространства уменьшается при расширении, увеличивается при

сжатии, но знак кривизны не меняется, т. е. открытая модель остается открытой, замкнутая — замкнутой. Начальные стадии эволюции по обеим моделям совершенно одинаковы: должны были существовать особое начальное состояние — сингулярность с огромной плотностью массы и кривизной пространства и взрывное, замедляющееся со временем, расширение.

Из космологических уравнений следует, что равная нулю кривизна пространства может иметь место только при строго определенной критической плотности $\rho_{кр}$.

Если $\rho > \rho_{кр}$, то мир замкнут, при $\rho \leq \rho_{кр}$ мир является открытым.

Указанные выше два исходных положения достаточны для суждений об общем характере эволюции Вселенной, но они оставляют открытым вопрос о ее начальном состоянии.

С 1960–1970-х гг. стала общепринятой модель “горячей” Вселенной (предполагается высокая первоначальная температура). В условиях очень высокой температуры ($T > 10^{13}$ К) существовала лишь равновесная смесь разных элементарных частиц (включая фотоны и нейтрино). Можно рассчитать состав такой смеси при разных температурах T , соответствующих последовательным этапам эволюции, найти закон расширения однородной и изотропной Вселенной и изменение ее физических параметров в процессе расширения.

Согласно этому закону во Вселенной в момент $t \approx 0,01$ с должны были существовать фотоны, электроны, позитроны, нейтрино, антинейтрино, а также большая примесь нуклонов (протонов и нейтронов). В результате последующих превращений к моменту $t \approx 3$ мин из нуклонов образуется смесь легких ядер ($2/3$ водорода и $1/3$ гелия по массе; все остальные химические элементы синтезируются из этого дозвездного вещества, причем намного позднее, в результате ядерных реакций в недрах звезд). В момент образования нейтральных атомов гелия и водорода (рекомбинация нуклонов и электронов в атомы произошла в момент $t \approx 10$ лет) вещество становится прозрачным для оставшихся фотонов, и они должны наблюдаться в настоящее время в виде *реликтового излучения*, свойства которого можно предсказать на основе теории “горячей” Вселенной.

Наибольшее принципиальное значение имеют выводы о нестационарности (расширении) Вселенной, о высоких значениях плотности и температуры в начале расширения (“горячая” Вселенная) и об искривленности пространства-времени.

Вывод о нестационарности надежно подтвержден космологическим красным смещением, обнаруженным Э. Хабблом. Наблюдаемая область Вселенной расширяется, и это расширение длится около 15 млрд лет.

Столь же основательное подтверждение нашла и концепция “горячей” Вселенной: в 1965 г. американскими физиками Арно Пензиасом (р. 1933 г.) и Робертом Вильсоном (р. 1930 г.) было открыто реликтовое излучение, которое оказалось изотропным, а спектр его равновесным, с температурой $T = 3 \text{ К}$.

Астрономические наблюдения приводят к значениям усредненной плотности вещества, входящего в видимые галактики, — около $3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$. Определить плотность скрытого (невидимого) вещества, а тем более плотность, создаваемую нейтрино (если масса нейтрино не равна нулю), гораздо труднее, и неопределенность суммарной плотности из-за этого весьма велика.

На основе имеющихся данных (плотность вещества от 10^{-31} до 10^{-29} г/см^3) нельзя сделать окончательного выбора между открытой (расширяющейся безгранично) и замкнутой (расширение в далеком будущем сменится сжатием) моделями. Эта неопределенность никак не сказывается на общем характере прошлого и современного расширения, но влияет на возраст Вселенной (длительность расширения).

Релятивистская космология объясняет наблюдаемое современное состояние Вселенной, она предсказала неизвестные ранее явления. Но развитие космологии поставило и ряд новых, крайне трудных проблем, которые еще не решены. Так, для изучения состояния вещества с плотностью на много порядков выше ядерной плотности нужна совершенно новая физическая теория (предположительно, некий синтез существующей теории тяготения и квантовой теории).

Существует проблема зарядовой асимметрии во Вселенной. В нашем космическом окружении (во всяком случае, в пределах Солнечной системы и Галактики) имеет место подавляющее количественное преобладание вещества над антивеществом. Причины, приводящие к наблюдаемой асимметрии между веществом и антивеществом, своими корнями уходят, по-видимому, в самые ранние стадии развития Вселенной.

Солнечная система

Солнечная система — это связанная силами взаимного притяжения система небесных тел. В нее входят центральное тело — Солнце, 9 больших планет с их спутниками (которых сейчас известно уже больше 60), несколько тысяч малых планет, или астероидов (открыто свыше 5 тыс., в действительности их гораздо больше), несколько сот наблюдавшихся комет, бесчисленное множество метеорных тел и межпланетная среда.

Большие планеты подразделяются на две основные группы: планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля и Марс и планеты юпитерианской группы, или планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В этой классификации нет места Плутону: и по размерам, и по свойствам он ближе к ледяным спутникам планет-гигантов.

Различие планет по физическим свойствам обусловлено тем, что земная группа формировалась ближе к Солнцу, а планеты-гиганты — на очень холодной периферии Солнечной системы. Планеты земной группы сравнительно малы и имеют большую плотность. Основными их составляющими являются силикаты (соединения кремния) и железо. У планет-гигантов нет твердой поверхности — они образованы преимущественно из водорода и гелия и пребывают в газообразном состоянии. Атмосферы этих планет, постепенно уплотняясь, плавно переходят в жидкую мантию.

Основная доля общей массы Солнечной системы (99,87%) приходится на Солнце. Поэтому солнечное тяготение управляет движением почти всех остальных тел системы: планет, комет, астероидов, метеорных тел. Только спутники обращаются вокруг

своих планет, притяжение которых из-за их близости оказывается сильнее солнечного.

Все планеты по форме близки к шаровым. Орбиты движения — эллиптические. Величиной, выражающей вытянутость орбиты, является эксцентриситет — отношение расстояния между фокусами эллипса к длине его большей оси.

Результаты теоретических и расчетных работ, выполненных астрономами более чем за 200 последних лет, говорят об устойчивости Солнечной системы. Об этом свидетельствуют также данные геологии, палеонтологии и других наук о Земле: уже 4,5 млрд лет расстояние нашей планеты от Солнца практически не меняется. И в будущем ни падение на Солнце, ни уход из Солнечной системы Земле не угрожают.

Солнце находится от нас на расстоянии 149 500 000 км и имеет диаметр примерно в 100 раз больше, чем диаметр Земли ($1,39 \cdot 10^{11}$ см). Масса Солнца $2 \cdot 10^{33}$ г, средняя плотность вещества равна $1,4 \cdot 10^3$ кг/м³ (1,6 плотности воды). Однако эта плотность сильно меняется с глубиной, будучи очень малой во внешних слоях — солнечной “атмосфере”, короне и большой вблизи центра — в 100 раз больше плотности воды.

Температура Солнца также сильно меняется. Она равна 5800 К на поверхности (видимая поверхность Солнца называется фотосферой) и $1,5 \cdot 10^7$ К — в центре, где идут термоядерные реакции. Большие температуры наблюдаются и в газовой солнечной короне на большом расстоянии от поверхности: 1–2 млн К. Эта температура объясняется ударной волной в разряженной плазме, составляющей корону. В свою очередь, ударная волна возникает вследствие звуковых волн, порожденных вихрями (“турбулентностью”) на поверхности Солнца.

На Солнце при очень больших температурах не могут существовать ни молекулы, ни атомы. Мы имеем плазму — ионизированный газ, в основном состоящий из водорода и гелия и небольшого количества атомов тяжелых элементов.

Солнце имеет магнитное поле. На поверхности Солнца наблюдается сеть постоянно меняющихся светлых и темных областей — гранул, “пятна”, а также яркие вспышки. Над поверх-

ностью Солнца поднимаются газовые фонтаны — протуберанцы. Все эти явления объясняются исходя из принципов классической электродинамики и газовой динамики.

Излучение Солнца является основным источником жизни на Земле. Прежде всего эту энергию потребляют растения, за ними и все живые существа, получая ее через растения и непосредственно. Полное излучение Солнца около $4 \cdot 10^{33}$ эрг/с.

Что является источником солнечной энергии? В расчете на 1 г своего вещества Солнце выделяет 2 эрг в секунду (энергия “горения”). Эта энергия поступает за счет термоядерных реакций превращения водорода в гелий.

Термоядерная реакция — это реакция слияния легких ядер в более тяжелые, происходящая при высоких температурах.

Образование дейтерия ${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{D} + e^+ + \text{нейтрино}$.

Образование изотопа ${}^3\text{He}$: ${}^2_1\text{D} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma$ -излучение.

Образование гелия: ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}^1_1\text{H}$.

Водород составляет 90% Солнца и его превращения в гелий достаточно для объяснения энергии Солнца. Считается, что примерно за 5 млрд лет существования Солнца сгорело около половины водорода. За следующие 5 млрд лет сгорит остальной водород, и тогда термоядерные реакции из центральной “выгоревшей” области перейдут в оболочку. Это приведет к расширению Солнца вплоть до орбиты Земли и оно станет красным гигантом — звездой огромного объема, а затем снова сожмется и станет белым карликом.

Прежде чем привести последовательное краткое описание всех планет Солнечной системы, дадим сравнительную характеристику их основных астрономических данных (табл. 3).

Меркурий. В своих расчетах движения Меркурия Коперник использовал наблюдения Птолемея и его современника Теона (IV в. до н. э.).

В южных широтах, в частности на юге России, увидеть эту планету легче, чем в северных. Сложность в том, что Меркурий не удаляется от дневного светила больше чем на 28° . Он регуляр-

но бывает виден то как вечерняя звезда, доступная наблюдениям лишь первые 2 часа после захода Солнца, то как утренняя — за 2 часа до рассвета. Между появлениями планеты на западе и на востоке проходит от 160 до 130 дней; большая разница объясняется значительной вытянутостью орбиты Меркурия.

Таблица 3

Планеты Солнечной системы

Планета	Масса*	Диаметр*	Средняя плотность, а.е.	Расстояние от Солнца, а.е.	Средняя температура, °С	Число спутников
1. Меркурий	0,05	0,38	5,70	0,39	+ 340	0
2. Венера	0,08	0,95	4,94	0,72	+ 480	0
3. Земля	1,00	1,00	5,51	1,00	+ 12	1
4. Марс	0,11	0,53	3,99	1,52	-53	2
5. Юпитер	317,37	11,11	1,33	5,20	-160	16
6. Сатурн	95,08	9,41	0,71	9,54	-190	17
7. Уран	14,61	3,98	1,49	19,19	-210	15
8. Нептун	17,23	3,88	2,09	30,06	-160	6
9. Плутон	0,80	0,47	4,40	39,44

* По отношению к Земле.

Меркурий, скорее всего, был открыт древнейшими пастушескими племенами, обитавшими в долинах Нила или Тигра и Евфрата. Однако нелегко было догадаться, что сравнительно яркие вечерняя и утренняя звезды — одно и то же светило. Недаром у древних народов оно имело два имени: у египтян — Сет и Гор, у индийцев — Будда и Рогиня, а греки именовали его Аполлон и Гермес.

Меркурий, как и Луна, светит отраженным солнечным светом и, подобно нашему спутнику, меняет фазы: от узкого серпа до светлого кружка. Полный диск Меркурия виден лишь в моменты верхних соединений, когда он скрывается в лучах Солнца и имеет минимальный диаметр. В нижнем соединении с Солнцем величина диска была бы наибольшей, но в это время

планета повернута к Земле неосвещенным полушарием и поэтому не видна. В остальное время в телескоп можно наблюдать фазы Меркурия, похожие на лунные, но с тем отличием, что размеры серпа заметно меняются со временем из-за изменения расстояния между Землей и Меркурием.

Исследования фотографических изображений поверхности Меркурия позволили составить вероятную картину эволюции этой планеты. В начальный период своей истории Меркурий, по-видимому, испытал сильное внутреннее разогревание, за которым последовала одна или несколько эпох активного вулканизма.

После завершения процесса формирования планеты ее поверхность была гладкой. Далее наступил период интенсивной бомбардировки Меркурия метеорными частицами.

Следующий этап характеризовался активным вулканизмом и выходом потоков лавы, заполнявшей крупные бассейны. Этот период завершился около 3 млрд лет назад.

Размеры Меркурия невелики, он немного больше Луны, но средняя плотность его почти такая же, как у Земли. Вероятно, к центру планеты плотность повышается до 9800 кг/м^3 . Это значит, что у Меркурия должно быть железное ядро радиусом 1800 км ($3/4$ радиуса планеты). На долю ядра приходится 80% массы Меркурия. В ядре генерируются кольцевые электрические токи, возбуждающие слабое магнитное поле планеты.

Сейчас гипотезы о строении Меркурия уточняются с учетом всех полученных наблюдательных данных. Но, видимо, основное свойство Меркурия подмечено правильно: снаружи он похож на Луну, а внутри — на Землю.

Венера — одно из красивейших небесных тел. Неслучайно именно ей древние римляне присвоили имя богини любви и красоты.

Для земного наблюдателя Венера не отходит от Солнца дальше чем на 48° . Это объясняется тем, что она расположена ближе к Солнцу, чем Земля. В течение 585 суток чередуются периоды ее вечерней и утренней видимости.

Почти каждая из планет Солнечной системы может похвастаться каким-нибудь космическим “рекордом”. Например,

Юпитер — крупнейшая среди планет, Земля — самая плотная, на Марсе самые высокие горы. Что касается Венеры, то у нее самая плотная атмосфера среди планет земной группы, самое медленное вращение вокруг оси и наименьший эксцентриситет орбиты (0,007).

В конце XVIII столетия стало ясно, что Венера окружена плотной атмосферой и мощным облачным слоем. В начале XX столетия в атмосфере Венеры был обнаружен углекислый газ. Попытки обнаружить в спектре Венеры признаки других газов долго оставались безуспешными.

Температура облачного слоя Венеры оказалась около -40°C .

В середине 1950-х гг. начались исследования Венеры методами радиоастрономии, а в 1960-е гг. к этой планете были запущены межпланетные станции, созданные учеными и инженерами СССР и США. За последующие 40 лет о природе Венеры удалось узнать намного больше, чем за предыдущие 350 лет телескопических наблюдений.

В 1956 г. астрономы Морской исследовательской лаборатории США впервые зарегистрировали тепловое излучение Венеры на длине волны 3 см. Оно соответствовало температуре свыше 300°C . После дискуссии о том, что же обладает столь высокой температурой — поверхность планеты или ее ионосфера, ученые пришли к выводу, что такова температура поверхности Венеры.

Венера получает от Солнца всего вдвое больше тепла, чем Земля. Если бы Земля оказалась на ее месте, температура нашей планеты повысилась бы не более чем на 60°C . Американский ученый К. Саган предположил, что газовая оболочка Венеры — это гигантский парник. Она способна пропускать солнечное тепло, но не выпускает наружу, поглощает излучение самой планеты. Поглотителями являются углекислый газ, на долю которого приходится около 90% состава атмосферы, и водяной пар, хотя его и немного (доли процента).

Кроме того, в атмосфере Венеры были обнаружены азот (3%) и в небольших концентрациях метан, аммиак, окислы азота, серы, соединения хлора и фтора, кислород.

В 1970-е гг. ученые пришли к выводу, что облака Венеры состоят из капелек концентрированной серной кислоты (H_2SO_4), которая образуется химическим путем из диоксида серы (SO_2).

Рельеф планеты состоит из обширных равнин, пресеченных горными цепями и возвышенностями типа плато. Горные области выглядят как земные материки. Два “континента” Венеры — Земля Иштар и Земля Афродиты — сравнимы по площади с континентальной частью США. Земля Иштар выделяется горами Максвелла, возвышающимися над средним уровнем на 11 км, т. е. они выше земного Эвереста. По восточному краю Земли Афродиты на 2200 км простираются две долины, расположенные ниже среднего уровня поверхности Венеры. Горная область Бета представляет собой два громадных вулкана щитообразной формы наподобие вулканов Гавайских островов. Они, как и их земные двойники, поднимаются на 4000 м, но гораздо больше по площади.

Низменности, похожие на океанские бассейны Земли, занимают только шестую часть поверхности планеты, тогда как на Земле — две трети. Есть на Венере и ударные кратеры, подобные лунным. Для крупных метеоритов, астероидов и ядер комет плотная атмосфера — не преграда. Основная же часть поверхности Венеры — это холмистая равнина с кратерообразными структурами (скорее всего вулканического происхождения), но меньших размеров, чем область Бета.

Вулканизм Венеры свидетельствует об активности ее недр. Однако проявления этой активности не носят глобального характера. Конвективные потоки жидкой мантии на Венере заперты толстой базальтовой корой, и большая часть лавы не достигает поверхности.

Земля. По результатам современных космологических исследований, Земля образовалась около 5 млрд лет назад из газопылевого вещества. В своем далеком прошлом Земля, подобно другим планетам Солнечной системы, была покрыта огненно-жидким океаном, а недра ее были холодными. Затем начался их быстрый нагрев, связанный с повышением количества радиоактивных изотопов и дальнейшим распадом этих изотопов.

Среднее расстояние от Земли до Солнца, принятое за 1 а.е., равно примерно 150 млн км. Средняя скорость движения по орбите равна 29,76 км/с. Период обращения вокруг Солнца составляет 365,24 суток. Наклон земной оси к плоскости эклиптики $66^{\circ} 33' 22''$. Период вращения вокруг оси — 23 ч 56 мин 4,1 с. Форма Земли — геоид, она сплюснута у полюсов и растянута в экваториальной плоскости. Средний радиус Земли равен 6371 км.

Непосредственное исследование глубинного строения Земли практически невозможно, так как даже самые глубокие скважины проникают лишь на незначительную часть земной коры (глубина сверхглубокой Кольской скважины около 13 км). Поэтому основным методом исследования является сейсмический метод, основанный на наблюдении процессов распространения упругих волн, вызванных землетрясениями или взрывами.

Земля состоит из ряда оболочек (геосфер). Геосферы отличаются друг от друга по химическому, агрегатному состоянию и физическим свойствам. В направлении от внешних слоев к центру выделяют магнитосферу, атмосферу, гидросферу, земную кору, мантию и ядро.

В результате вращения Земли в жидком ядре создаются замкнутые электрические токи, приводящие к созданию магнитного поля Земли. Магнитное поле Земли изменчиво, время от времени меняется положение магнитных полюсов. Благодаря магнитному полю Земли вокруг нее образуются радиационные пояса, в которых магнитное поле Земли удерживает заряженные частицы (электроны, протоны). Тем самым магнитное поле Земли защищает ее поверхность от заряженных частиц большой энергии (солнечного ветра). С другой стороны, радиационные пояса — источник радиационной опасности при космических полетах.

Атмосфера подразделяется на несколько слоев. В зависимости от температуры выделяют тропосферу (0–12 км), стратосферу (13–47 км), мезосферу (48–80 км), термосферу (81–100 км), экзосферу (свыше 100 км).

По составу в атмосфере выделяют озоновый слой (20–25 км), а выше 40 км несколько слоев ионосферы: на высоте 40–50 км —

С-слой, на высоте 70–80 км — Д-слой, на высоте 100–120 км — Е-слой, на высоте 150–300 км — F-слой.

Земная кора — тонкий слой земной поверхности, который располагается под дном океанов до глубины 10 км, а под материками — до 40–60 км. Земная кора в основном состоит из восьми химических элементов: кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия и калия. Половина всей массы коры приходится на кислород, который содержится в ней в связанных состояниях, в основном в виде окислов металлов.

Более подробно характеристики Земли рассмотрены в разделе “Геологические концепции описания природы”.

Марс — ближайший сосед Земли со стороны, противоположной Солнцу.

Марс удален от Солнца в среднем на 228 млн км. Весь свой путь вокруг Солнца Марс проходит за 687 суток, или за 1 год и 11 месяцев.

Еще в глубокой древности люди обратили внимание на красную звезду, которая время от времени сияла на небосклоне. Древние египтяне и жители Вавилона называли ее просто Красной звездой. Пифагор предложил именовать ее Пирей, что значит “пламенный”.

Древние греки посвящали все планеты богам. Для бога войны Ареса не нашлось более подходящего символа, чем красноватая звезда в черном небе. В римской мифологии Аресу соответствовал бог Марс. Так планета обрела свое нынешнее имя. На Руси вплоть до XVIII в. использовались греческие названия планет, и Марс именовали Аррисом или Ареем.

Когда в 1887 г. американский астроном Асаф Холл (1829–1907 гг.) открыл два спутника Марса, он дал им греческие имена Фобос и Деймос, которые переводятся как “страх” и “ужас”.

Орбита Марса довольно сильно вытянута, поэтому расстояние от него до Земли от противостояния к противостоянию заметно меняется. Если Марс попадает в противостояние с Землей в афелии (т. е. в период максимального удаления от Солнца),

расстояние между ними превышает 100 млн км. Если же противостояние происходит при наиболее благоприятных условиях, в перигелии марсианской орбиты, это расстояние уменьшается до 56 млн км. Такие “близкие” противостояния называются великими и повторяются через 15–17 лет. Марс имеет фазы, но поскольку он расположен дальше от Солнца, чем Земля, полной смены фаз у него (как и у других внешних планет) не бывает. Максимальный “ущерб” соответствует фазе Луны за три дня до полнолуния или спустя три дня после него.

На Марсе так же, как и на Земле, происходит смена времен года, только тянутся они почти в два раза дольше. Марсианский день мало отличается от земного: сутки там длятся 24 ч 37 мин.

Вследствие малой массы сила тяжести на Марсе почти в три раза меньше, чем на Земле. В настоящее время структура гравитационного поля Марса детально изучена. Она указывает на небольшое отклонение от однородного распределения плотности в планете. Ядро может иметь радиус до половины радиуса планеты. Очевидно, оно состоит почти из чистого железа или сплава Fe — FeS (железо — сульфид железа) и, возможно, растворенного в них водорода. По-видимому, ядро Марса частично или полностью пребывает в жидком состоянии. Наличие у планеты собственного, хотя и очень слабого, магнитного поля, обнаруженного с помощью космических аппаратов серии “Марс”, подтверждает это.

Марс имеет мощную кору толщиной 70–100 км. Между ядром и корой находится силикатная мантия, обогащенная железом. Красные окислы железа, присутствующие в поверхностных породах, определяют цвет планеты.

Еще в 1659 г. нидерландский ученый Х. Гюйгенс впервые описал темные области на Марсе. Приблизительно в то же время итальянец Джованни Доменико Кассини (1625–1712 гг.) обнаружил на планете полярные шапки.

До полетов к Марсу разгадать природу деталей марсианского диска не удавалось, хотя на этот счет высказывалось множество гипотез. Только в 60–70 гг. XX столетия фотографии

советских “Марсов” и американских “Маринеров” позволили исследовать рельеф Красной планеты с близкого расстояния, а “Викинги” “перенесли” ученых прямо на ее поверхность.

На первый взгляд поверхность Марса напоминает лунную. Однако на самом деле ее рельеф отличается большим разнообразием. На протяжении долгой геологической истории Марса его поверхность изменяли извержения вулканов и марсотрясения.

Атмосфера Марса более разрежена, чем воздушная оболочка Земли. По составу она напоминает атмосферу Венеры и на 95% состоит из углекислого газа. Около 4% приходится на долю азота и аргона. Кислорода и водяного пара в марсианской атмосфере меньше 1%.

Средняя температура на Марсе значительно ниже, чем на Земле, — около -40°C . При наиболее благоприятных условиях летом на дневной половине воздух прогревается до 20°C — вполне приемлемая температура для жителей Земли. Но зимней ночью мороз может достигать -125°C . Такие резкие перепады температуры вызваны тем, что разреженная атмосфера Марса не способна долго удерживать тепло.

Над поверхностью планеты часто дуют сильные ветры, скорость которых доходит до 100 м/с. Малая сила тяжести позволяет даже разреженным потокам воздуха поднимать огромные облака пыли. Иногда довольно обширные области на Марсе бывают охвачены грандиозными пылевыми бурями. Чаще всего они возникают вблизи полярных шапок. Глобальная пылевая буря на Марсе помешала фотографированию поверхности с борта зонда “Маринер-9”. Она бушевала с сентября 1971 по январь 1972 г., подняв в атмосферу на высоту более 10 км около миллиарда тонн пыли.

Водяного пара в марсианской атмосфере совсем немного, но при низких давлении и температуре он находится в состоянии, близком к насыщению, и часто собирается в облака. Марсианские облака довольно невыразительны по сравнению с земными.

Смена времен года на Марсе происходит так же, как и на Земле. Ярче всего сезонные изменения проявляются в полярных областях. В зимнее время полярные шапки занимают значи-

тельную площадь. Граница северной полярной шапки может удалиться от полюса на треть расстояния до экватора, а граница южной шапки преодолевает половину этого расстояния. Такая разница вызвана тем, что в северном полушарии зима наступает, когда Марс проходит через перигелий своей орбиты, а в южном — когда через афелий. Из-за этого зима в южном полушарии холоднее, чем в северном.

Юпитер — вторая по яркости после Венеры планета. Но если Венеру можно видеть только утром или вечером, то Юпитер иногда сверкает всю ночь. Из-за медленного, величественного перемещения этой планеты среди звезд древние греки дали ей имя своего верховного бога Зевса; в римском пантеоне ему соответствовал Юпитер.

Юпитер сыграл важную роль в астрономии. Он стал первой планетой, у которой были открыты спутники. В 1610 г. Галилей, направив телескоп на Юпитер, заметил рядом с планетой четыре звездочки, невидимые простым глазом. Уже на следующий день они изменили свое положение и относительно Юпитера, и относительно друг друга. Проследив за новооткрытыми “звездочками” на протяжении нескольких ночей, Галилей заключил, что наблюдает спутники Юпитера, обращающиеся вокруг него как центрального светила. Это была уменьшенная модель Солнечной системы. Быстрое и хорошо заметное перемещение открытых Галилеем спутников Юпитера — Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто, — делает их удобными “небесными часами”, и моряки долгое время пользовались ими, чтобы определять положение корабля в открытом море.

Юпитер и его спутники помогли решить одну из древнейших загадок: распространяется ли свет мгновенно или скорость его конечна? Регулярно наблюдая затмения спутников Юпитера и сравнивая эти данные с результатами предварительных расчетов, датский астроном Оле Ремер (1644–1710 гг.) обнаружил, что наблюдения и вычисления расходятся, если Юпитер и Земля находятся по разные стороны от Солнца. В этом случае затмения спутников запаздывают примерно на 1000 с. Ремер пришел к правильному выводу, что 1000 с — это как раз то время, которое

необходимо свету, чтобы пересечь орбиту Земли по диаметру. Поскольку диаметр земной орбиты составляет 300 млн км, скорость света оказывается близкой к 300 000 км/с.

Юпитер — это планета-гигант, которая содержит в себе 2/3 массы всей нашей планетной системы. Масса Юпитера равна 318 земным, его объем в 1300 раз больше, чем у Земли. Средняя плотность Юпитера 1330 кг/м³, что сравнимо с плотностью воды и в четыре раза меньше, чем плотность Земли. Видимая поверхность планеты в 120 раз превосходит площадь Земли. Температура на Юпитере низкая: –140°С.

Сатурн представляется невооруженному глазу звездой 1-й звездной величины, он значительно слабее по блеску, чем Венера, Юпитер и Марс. Сатурн сильно сплюснут. На поверхности планеты выделяются параллельные экваторы-полосы, менее четкие, чем у Юпитера. В этих полосах можно рассмотреть многочисленные, хотя и неяркие детали, именно по ним Уильям Гершель (1738–1822 гг.) определил период вращения Сатурна. Он оказался очень коротким — всего 10 ч 16 мин.

Изредка на диске планеты появляются и более заметные детали. Так, в феврале 1876 г. на экваторе Сатурна возникло большое белое пятно, обращавшееся с периодом 10 ч 14 мин. Незначительная разница не должна удивлять: как и у Солнца и Юпитера, скорость вращения атмосферы Сатурна в экваториальных зонах больше, чем около полюсов. Содержание гелия в атмосфере ниже, чем у Юпитера. Он более равномерно распределен по всей массе планеты.

Вдоль экватора планеты проходит гигантское атмосферное течение шириной в десятки тысяч километров, скорость его достигает 500 м/с. Ниже атмосферы простирается океан жидкого молекулярного водорода. На глубине около половины радиуса планеты давление в нем достигает 3 млн атм., и водород уже не может существовать в молекулярном состоянии. Он становится металлическим, хотя по-прежнему жидким. Течения в этом металлическом океане генерируют довольно сильное магнитное поле Сатурна. В центре планеты находится массивное ядро (до 20 земных масс) из камня, железа и, возможно, льда.

Предположение, что планета окружена кольцом, высказал в 1655 г. Х. Гюйгенс. Разделение колец Сатурна на отдельные узкие кольца предсказал еще в 1775 г. немецкий философ И. Кант, основываясь на своих остроумных теоретических рассуждениях.

Сами кольца чрезвычайно тонки: около 10–20 км толщиной. Основная часть колец Сатурна имеет ширину порядка 60 тыс. км. В соответствии с законами Кеплера частицы на разных радиусах кольца движутся с различными скоростями: чем ближе к планете, тем быстрее. В наиболее плотном кольце есть область, где период обращения частиц — 10,5 ч. Это значит, что относительно поверхности планеты они остаются неподвижными. Подобным образом “висят” над Землей геостационарные спутники, ретранслирующие теле- и радиосигналы наземных станций, — их период обращения равен 24 ч.

Уран. В XVIII в. планетная система была известна только до Сатурна. Но уже тогда предполагали, что Сатурном список планет не оканчивается, что существуют еще более далекие планеты, которые невооруженным глазом увидеть нельзя. В 1781 г. Гершель, наблюдая звезды в телескоп, заметил новое светило, которого не было на звездной карте. Понаблюдав за этим светилом несколько дней, Гершель увидел, что оно перемещается среди звезд и, значит, представляет собой планету.

Оказалось, что эта планета обращается вокруг Солнца на расстоянии 2869 млн км и совершает полный оборот за 84 года. Новой планете дали имя Уран.

Уран — голубая планета. Причина этого кроется в составе атмосферы Урана и ее температуре. При морозе (-218°C) в верхних слоях водородно-гелиевой атмосферы сконденсировалась и теперь постоянно присутствует метановая дымка. Метан хорошо поглощает красные лучи и отражает голубые и зеленые. Поэтому Уран приобрел красивый аквамариновый цвет.

У Урана почти такое же сильное магнитное поле, как у Земли, только конфигурация его необычна: магнитный полюс отклоняется от географического почти на 60° . А самая примечательная особенность этой планеты заключается в том, что она

вращается, “лежа на боку” (даже слегка “вниз головой”): наклон ее оси вращения 98° .

Уран получает почти в 400 раз меньше света, чем наша планета.

Атмосферное давление на уровне океана — 200 тыс. земных атмосфер. Под газовой оболочкой толщиной около 8 тыс. км ($1/3$ радиуса планеты) должен располагаться плотный океан из воды, аммиака и метана с температурой поверхности 2200°C .

На Уране нет металлического водорода, и аммиачно-метаново-водная оболочка толщиной 10 тыс. км переходит в центральное железно-каменное ядро из твердых пород.

Всего у Урана известно 15 спутников. Эта спутниковая система лежит в экваториальной плоскости планеты.

Нептун. Наблюдая Уран, ученые обнаружили в его движении некоторые неправильности, которые могли происходить только от того, что существует какая-то планета, которая своим притяжением немного сдвигает Уран с того пути, по которому он обращался бы под действием притяжения Солнца и остальных планет.

При изучении движения Урана нужно было решить задачу: зная возмущения, найти место вызывающей их неизвестной планеты. Эту трудную задачу решили французский астроном Урбен Жан Леверье (1811–1877 гг.) и английский ученый Джон Кауч Адамс (1819–1892 гг.). Только одними расчетами, совсем не глядя на небо, они указали место, где должна находиться неизвестная планета. И действительно, когда на это место астроном Иоганн Галле (1812–1910 гг.) направил телескоп, то обнаружил новую планету. Так в 1846 г. была открыта восьмая планета Солнечной системы — Нептун. Температура поверхности Нептуна ниже -200°C .

Плутон. В 1930 г. Клайду Томбо (1906–1997 гг.) удалось открыть еще одну планету, которая находится от Солнца на расстоянии в 40 раз больше, чем Земля (5929 млн км), и делает оборот за 247,7 года. Это девятая планета Солнечной системы.

Плутон резко отличается от четырех гигантских планет. Он меньше их — его масса примерно такая же, как и у Земли. От

нас он так далек, что даже в самые сильные телескопы выглядит звездой, и рассмотреть его поверхность пока невозможно.

По размерам Плутон сравним с Марсом, его альbedo (отражательная способность) меньше, чем у Марса.

Поверхность Плутона покрыта метановым льдом и поэтому имеет сероватый оттенок. В течение нескольких лет до и после прохождения перигелия Плутон бывает ближе к Солнцу, чем Нептун. Этот период можно считать “летом” для Плутона. Температуры у поверхности в это время составляют (по разным оценкам) от 45 до 67 К. В последний раз Плутон прошел свой перигелий 9 сентября 1989 г. Через 124 года, когда он будет в афелии, приток солнечного тепла уменьшится втрое, и температура его упадет.

Звезды

В обычном (стационарном) состоянии звезды — это раскаленные газы (плазменные) шарообразные небесные тела, находящиеся в гидродинамическом и тепловом равновесии. Гидродинамическое равновесие обеспечивается равенством сил тяготения и сил внутреннего давления, действующих на каждый элемент массы звезды. Тепловое равновесие соответствует равенству энергии, выделяемой из недр звезды, и энергии, излучаемой с ее поверхности.

Звезды (кроме ближайшей к нам звезды — Солнца) находятся на столь больших расстояниях от Земли, что даже в самые сильные телескопы видны как светящиеся точки различной яркости и цвета. Основная видимая характеристика звезды — ее блеск, который определяется мощностью излучения (светимостью) звезды и расстоянием до нее.

Основными параметрами состояния звезды являются светимость L , масса M и радиус R . Их численные значения принято выражать в солнечных единицах ($L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{33}$ эрг/с, $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{33}$ г, $R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^{10}$ см). Значения масс звезд заключены в пределах от 0,03 до 60 M_{\odot} .

Светимость стационарных звезд лежит в интервале от 10^{-4} до $10^5 L_{\odot}$, а радиусы — от 10 км (нейтронные звезды) до $10^3 R_{\odot}$ (сверхгиганты).

Звезды представляют большой интерес для физики, так как в них реализуются условия, недостижимые в земных лабораториях (температуры до 10^9 К, плотность до 10^{14} г/см³, магнитные поля напряженностью до 10^{14} Э), и наблюдаются характерные для этих условий процессы. Огромную информацию дает изучение спектров звезд (определение их химического состава, температуры поверхности, магнитных полей, скоростей движения и вращения, расстояний до звезд).

Звезды по состоянию вещества в недрах подразделяют на три главные группы:

1) нормальные звезды, гидростатическое равновесие которых поддерживается давлением классической идеальной плазмы, существующей благодаря термической ионизации атомов;

2) белые карлики, которые удерживаются в равновесии давлением электронов плазмы (ионизованной даже при низких температурах большим давлением);

3) нейтронные звезды с высокой плотностью ($\rho > 10^{12}$ г/см³), при которой энергия электронов столь высока, что энергетически выгоден процесс нейтронизации вещества, т. е. слияние протонов и электронов, из-за чего вещество внешних слоев звезды состоит из ядер, обогащенных нейтронами, а внутренних — из свободных нейтронов (с малой примесью протонов и электронов).

Основной источник излучения звезд (фотонного и нейтринного, а также корпускулярного) — это реакция термоядерного синтеза.

На непродолжительных стадиях перехода от одной реакции к другой, сопровождающихся сжатием звезды, существенным становится также выделение потенциальной гравитационной энергии. Наиболее энергетически эффективным процессом, идущим при самой низкой температуре (около 10^7 К), является процесс превращения водорода в гелий. Поскольку водородный цикл реакции является самым медленным, большая часть наблюдаемых звезд находится в стадии водородного горения в центре.

При данном химическом составе условия теплового и механического равновесия дают для этих звезд однозначную связь

светимости, массы и радиуса. Вследствие этого на диаграммах “светимость — температура поверхности” и “масса — радиус” большинство звезд группируется вдоль определенной линии, так называемой главной последовательности.

После выгорания водорода в центре происходит сжатие ядра и повышение его температуры, в результате становится возможным (при достаточно большой массе звезды) горение все более тяжелых элементов, так как повышение температуры создает условия для преодоления более высокого, чем у водорода, кулоновского барьера при слиянии тяжелых атомных ядер.

Большую часть своей жизни звезды находятся в стационарном состоянии (например, светимость Солнца практически постоянна уже несколько миллиардов лет). Равновесность звезд при непрерывной потере энергии обусловлена сильным различием продолжительности протекающих в них процессов. Нарушение механического равновесия, например, снижение давления в звезде, приводит к сжатию звезды и превращению части гравитационной энергии в теплоту. В результате внутреннее давление возрастает, механическое равновесие восстанавливается. Звезды представляют собой, таким образом, саморегулирующуюся систему.

Если устойчивость звезды нарушается, она становится нестационарной. Различные виды нестационарности имеют свое характерное время и могут проявляться в виде автоколебаний (цефеиды — пульсирующие переменные звезды-сверхгиганты), гравитационного коллапса и др. При неустойчивости теплового равновесия нестационарность проявляется в виде вспышки.

На поздних стадиях эволюции ядра звезд становятся компактными, картина эволюции усложняется. Амплитуда проявлений нестационарности может быть самой разной: от долей процента при слабых пульсациях до вспышки с увеличением светимости примерно в 10^{10} раз у сверхновых звезд.

Общая картина эволюции звезд может быть охарактеризована следующим образом: звезды возникают в результате конденсации межзвездной пыли и газа, богатого водородом. Затем следует наиболее длительная стадия звездной эволю-

ции — период термоядерных реакций превращения водорода в гелий в центре звезды. Когда водород в центре исчерпан, ядро сжимается и нагревается, а оболочка сильно расширяется, причем, несмотря на рост светимости, температура поверхности падает — звезда становится красным гигантом. После этого в ядре звезды становится возможным термоядерное горение гелия и более тяжелых элементов, сопровождаемое в ряде случаев сбросом водородной оболочки и образованием так называемой планетарной туманности. Остаток звезды остывает, переходя в стадию белого карлика. В зависимости от начальной массы звезды могут закончить свою эволюцию также взрывом сверхновой с остатком в виде нейтронной звезды, либо без остатка. Согласно общей теории относительности Эйнштейна наиболее массивные звезды, если они сохранили свою массу вплоть до исчерпания термоядерного горючего, должны коллапсировать в состояние черной дыры.

Справедливость основных положений теории строения и эволюции звезд подтверждена многими открытиями второй половины XX в. Термоядерная эволюция подтверждается как относительной распространенностью химических элементов, так и наличием водородных, гелиевых, углеродных и других звезд с аномалиями химического состава на поздних стадиях.

Теория предсказала подтверждающуюся наблюдениями зависимость “масса — радиус” для белых карликов, а также существование нейтронных звезд, открытых в виде пульсаров под руководством Энтони Хьюиша (р. 1924 г.) в 1967 г. Это открытие носило довольно драматический характер. Излучение этих удивительных объектов меняется (отсюда и название — пульсары, или радиопульсары, от англ. pulsars — сокр. от pulsating sources of radio emission) с такой стабильной частотой, что сначала эти пульсары были приняты за сигналы внеземных цивилизаций. Физическая природа пульсаров была вскоре объяснена Г. Гамовым.

Радиопульсары представляют собой быстровращающиеся намагниченные нейтронные звезды. Очень интересно, что возникновение как быстрого вращения, так и огромного магнитного

поля при превращении обычной звезды в нейтронную легко объясняется на основе простейших соображений о сохранении момента количества движения и магнитного потока. Пульсары открыты сейчас также в рентгеновском и гамма-диапазонах. Ныне известно около 1000 пульсаров с периодом радиоимпульсов (это также период вращения звезды) $1,56 \cdot 10^{-3}$ — 4,3 с. У большинства пульсаров он равен 0,1–1 с, а магнитное поле около 10⁸ Тл. Существование в природе столь сильных магнитных полей — важнейшее открытие!

В 1992 г. учеными Калифорнийского технического института обнаружены нейтронные звезды с еще более сильными полями (магнетары), достигающими 10¹¹–10¹² Тл. Радиоизлучения у магнетаров нет, но они испускают мягкое гамма-излучение.

Значительный прогресс произошел также в изучении физики черных дыр. Черные дыры — интереснейшие физические объекты. Несмотря на то, что наблюдать их явным образом пока невозможно, в их существовании и большой роли в космосе сегодня никто не сомневается. Есть, правда, возможность идентифицировать такую звезду. Черные дыры можно зафиксировать по их тяготению либо по излучению, идущему из области, где находится падающее на нее или вращающееся вокруг нее вещество. В Галактике обнаружено уже довольно много “черных дыр”, идентифицированных указанными выше способами.

Квазары

Квазары (англ. quasar — quasistellar radiosource — “квазизвездные источники радиоизлучения”) являются мощными источниками электромагнитного излучения и представляют собой активные ядра (центр) далеких галактик. Они открыты в 1963 г. как звездообразные источники радиоизлучения с очень малыми угловыми размерами (меньше 10”) и малой визуальной звездной величиной. Мартен Шмидт (р. 1929 г.) обнаружил в спектрах этих объектов значительное красное смещение спектральных линий, указывающее на их большую удаленность (все квазары находятся дальше 1000 Мпк, т. е. вблизи границы видимой Вселенной).

С учетом расстояния до квазаров мощность излучения типичного квазара составляет в радиодиапазоне около 10^{43} эрг/с, в оптическом диапазоне — около 10^{46} эрг/с, в инфракрасном диапазоне — около 10^{47} эрг/с, т. е. суммарное излучение квазаров в 10^3 – 10^4 раз превышает излучение всех звезд какой-либо крупной галактики. А у квазара 3С 273 обнаружено также рентгеновское излучение около 10^{46} эрг/с.

По избыточному ультрафиолетовому излучению удается отличить квазары от нормальных звезд, а по сильному инфракрасному излучению — от белых карликов.

К фундаментальным свойствам квазаров относится переменность их излучения в радио-, инфракрасном и оптическом диапазонах.

Физическая природа активности квазаров еще до конца не раскрыта. Существует предположение, что активная фаза ядер галактик составляет сравнительно небольшую часть времени их существования и что эта фаза может периодически повторяться. Согласно существующим гипотезам, мощное излучение квазаров (как тепловое, так и электромагнитное) может быть обусловлено:

1) процессами в компактном (около $10^8 M_{\odot}$ — солнечных масс) звездном скоплении (столкновения звезд, вспышки сверхновых, ансамбль пульсаров);

2) трансформацией в излучение энергии магнитных полей и кинетической энергии массивного вращающегося магнетоплазменного тела;

3) аккрецией — падением вещества на массивную черную дыру, находящуюся в центре квазара.

Раскрытие энергетики квазаров внесет, несомненно, существенный вклад в современную физику и астрофизику. Особый интерес квазары представляют как далекие объекты, участвующие в космологическом расширении Метагалактики. Исследование пространственного распределения квазаров и различий в их свойствах может пролить свет на ранние стадии эволюции Вселенной.

Галактика

Солнце является одной из звезд, образующих единую стационарную гравитационно-связанную звездную систему — Галактику, которая имеет также и другое название — Млечный Путь. Истинные размеры Галактики были установлены только в XX в. Оказалось, что она является значительно более плоским образованием, чем предполагалось ранее. Диаметр галактического диска превышает 100 000 св. лет, а толщина — около 1000 св. лет. По внешнему виду Галактика напоминает чечевичное зерно с утолщением посередине.

Из-за того, что Солнечная система находится практически в плоскости Галактики, заполненной поглощающей материей, очень многие детали строения Млечного Пути скрыты от взгляда земного наблюдения. Однако их можно изучать на примере других галактик, сходных с нашей. Так, в 40-е гг. XX столетия, наблюдая галактику М 31, больше известную как туманность Андромеды, астроном Вальтер Бааде (1893–1960 гг.) заметил, что плоский линзообразный диск этой огромной галактики погружен в более разреженное звездное облако сферической формы — гало.

Поскольку туманность Андромеды очень похожа на нашу Галактику, Бааде предположил, что структура имеется и у Млечного Пути. Звезды галактического диска были названы населением I типа, а звезды гало (или сферической составляющей) — населением II типа. Как показывают современные исследования, два вида звездного населения отличаются не только пространственным положением, но и характером движения, а также химическим составом. Эти особенности связаны в первую очередь с различным происхождением диска и сферической составляющей.

Наша Галактика содержит не менее 100 млрд звезд. Общая масса Галактики оценивается как $10^{11} M_{\odot}$. Кроме звезд, Галактика содержит межзвездное вещество (газ, пыль). Общая масса этого вещества $M_M \approx 0,05 M_z$, где M_z — общая масса звезд.

Границы нашей Галактики определяются размерами гало. Радиус гало значительно больше размеров диска и, по некоторым данным, достигает нескольких тысяч световых лет. Центр

симметрии гало Млечного Пути совпадает с центром галактического диска. Состоит гало в основном из очень старых, неярких маломассивных звезд. Они встречаются как поодиночке, так и в виде шаровых скоплений, которые могут включать в себя более 1 млн звезд. Возраст населения сферической составляющей Галактики превышает 12 млрд лет. Его обычно принимают за возраст самой Галактики.

Характерной особенностью звезд гало является чрезвычайно малая доля в них тяжелых химических элементов. Звезды, образующие шаровые скопления, содержат металлов в сотни раз меньше, чем Солнце.

Звезды сферической составляющей концентрируются к центру Галактики. Центральная, наиболее плотная часть гало в пределах нескольких тысяч световых лет от центра Галактики, называется балдж (от англ. bulge — “утолщение”).

Звезды и звездные скопления гало движутся вокруг центра Галактики по очень вытянутым орбитам. Из-за того, что вращение отдельных звезд происходит почти беспорядочно (т. е. скорости соседних звезд могут иметь самые различные направления), гало в целом вращается очень медленно.

По сравнению с гало диск вращается заметно быстрее. Скорость его вращения не одинакова на различных расстояниях от центра. Она быстро возрастает от нуля в центре до 200–240 км/с на расстоянии 2000 св. лет от него, затем несколько уменьшается, снова возрастает примерно до того же значения и далее остается почти постоянной. Изучение особенностей вращения диска позволило оценить его массу. Оказалось, что она в 150 млрд раз больше массы Солнца.

Население диска очень сильно отличается от “населения” гало. Вблизи плоскости диска концентрируются молодые звезды и звездные скопления, возраст которых не превышает нескольких миллиардов лет. Они образуют так называемую плоскую подсистему. Среди них очень много ярких и горячих звезд.

Газ в диске Галактики также сосредоточен в основном вблизи его плоскости. Он распределен неравномерно, образуя многочисленные газовые облака, — от гигантских неоднородных по

структуре облаков протяженностью несколько тысяч световых лет до маленьких, размером не больше одного светового года.

Основными химическими элементами в нашей Галактике являются водород (75%) и гелий (около 25%). По сравнению с ними остальные элементы присутствуют в очень небольших количествах. В среднем химический состав звезд и газа в диске почти такой же, как и у Солнца.

Одной из самых интересных областей Галактики считается ее центр, или ядро, расположенное в направлении созвездия Стрельца. Видимое излучение центральных областей Галактики полностью скрыто от нас мощными слоями поглощающей материи. Поэтому его начали изучать только после создания приемников инфракрасного и радиоизлучения, которое поглощается в меньшей степени.

Для центральных областей Галактики характерна сильная концентрация звезд: в каждом кубическом парсеке вблизи центра их содержатся многие тысячи. Расстояния между звездами в десятки и сотни раз меньше, чем в окрестностях Солнца. Если бы мы жили на планете около звезды, находящейся вблизи ядра Галактики, то на небе были бы видны десятки звезд, по яркости сопоставимых с Луной, и многие тысячи более ярких, чем самые яркие звезды нашего неба.

Помимо большого количества звезд в центральной области Галактики наблюдается околоядерный газовый диск, состоящий преимущественно из молекулярного водорода. Его радиус превышает 1000 св. лет. Ближе к центру отмечаются области ионизированного водорода и многочисленные источники инфракрасного излучения, свидетельствующие о происходящем там звездообразовании.

В самом центре Галактики предполагается существование массивного компактного объекта — черной дыры массой около миллиона масс Солнца — Стрелец А^{*}, происхождение которого связывается с активностью ядра.

Одним из наиболее заметных образований в дисках галактик, подобных нашей, является спиральные ветви (или рукава). Они и дали название этому типу объектов — спиральные галактики

(S). Спиральная структура в нашей Галактике очень хорошо развита. Вдоль рукавов в основном сосредоточены самые молодые звезды, многие рассеянные звезды, скопления и ассоциации, а также цепочки плотных облаков межзвездного газа, в которых продолжают образовываться звезды. В спиральных ветвях находится большое количество переменных и вспыхивающих звезд, в них чаще всего наблюдаются взрывы некоторых типов сверхновых. В отличие от гало, где какие-либо проявления звездной активности чрезвычайно редки, в ветвях продолжается бурная жизнь, связанная с непрерывным переходом вещества из межзвездного пространства в звезды и обратно. Галактическое магнитное поле, пронизывающее весь газовый диск, также сосредоточено главным образом в спиральных.

Спиральные рукава Млечного Пути в значительной степени скрыты от нас поглощающей материей. Подробное их исследование началось после появления радиотелескопов. Они позволили изучать структуру Галактики по наблюдениям радиоизлучения атомов межзвездного водорода, концентрирующегося вдоль длинных спиралей. По современным представлениям, спиральные рукава связаны с волнами сжатия, распространяющимися по диску Галактики. Проходя через области сжатия, вещество диска уплотняется, а образование звезд и газа становится более интенсивным. Причины возникновения в дисках спиральных галактик такой своеобразной волновой структуры не вполне ясны. Над этой проблемой работают многие астрофизики.

В окрестностях Солнца удастся проследить участки двух спиральных ветвей, удаленных от нас примерно на 3000 св. лет. По созвездиям, где обнаруживаются эти участки, их называют рукавом Киля — Стрельца и рукавом Персея. Солнце находится почти посередине между этими спиральными ветвями. Правда, сравнительно близко (по галактическим меркам) от нас, в созвездии Ориона, проходит еще одна, не столь явно выраженная ветвь, считающаяся ответвлением одного из основных спиральных рукавов Галактики.

Расстояние от Солнца до центра Галактики составляет 23 000–28 000 св. лет, или 7000–9000 пк. Это говорит о том, что Солнце расположено посередине между центром и краем диска.

Скорость вращения Солнца вокруг центра Галактики практически совпадает с той скоростью, с которой в данном районе движется волна уплотнения, формирующая спиральный рукав. Такая ситуация в общем неординарна для Галактики: спиральные ветви вращаются с постоянной угловой скоростью, как спицы колеса, а движение звезд, как мы видели, подчиняется совершенно иной закономерности. Поэтому почти все звездное население диска то попадает внутрь спиральных ветвей, то выходит из них. Единственное место, где скорости звезд и рукавов совпадают, — это так называемая коронационная окружность. Именно вблизи нее и располагается Солнце.

Для Земли это обстоятельство крайне благоприятно. Ведь в спиральных ветвях происходят бурные процессы, порождающие мощное излучение, губительное для всего живого. И никакая атмосфера не могла бы от него защитить. Но наша планета существует в относительно спокойном месте Галактики и в течение миллиардов лет не испытывала катастрофического влияния космических катаклизмов. Может быть, именно поэтому на Земле могла сохраниться жизнь.

Долгое время положение Солнца среди звезд считалось самым заурядным. Сегодня мы знаем, что это не так: в известном смысле оно привилегированное. И это нужно учитывать, рассуждая о возможности существования жизни в других частях нашей Галактики.

Метагалактика

Космические тела обладают тенденцией группироваться в системы. Звезды могут входить в состав звездных скоплений или ассоциаций. Крупнейшими объединениями звезд являются галактики. Но и они редко наблюдаются одиночными. Более 90% ярких галактик входят либо в небольшие группы, содержащие лишь несколько крупных членов (такова, например, Местная группа галактик), либо в скопления, в которых их насчитываются многие тысячи. В окрестностях нашей Галактики, например, в пределах 1,5 Мпк от нее, расположены еще около 40 галактик, которые образуют Местную группу.

Вся известная современной науке совокупность галактик составляет Метагалактику. Ее размер равен 15–20 млрд св. лет, возраст — 15–20 млрд лет. Это время соответствует периоду эволюции Вселенной от Большого взрыва до наших дней.

Еще в XVII в. астрономы заметили туманные объекты — туманности. О туманности Андромеды впервые упомянул современник Галилея Симон Мариус (1573–1624 гг.) в 1612 г. Французский астроном Шарль Мессье (1730–1817 гг.), известный открытием 14 комет, чтобы наблюдатели не путали кометы с туманностями, составил первый каталог туманностей, содержащий около ста объектов. Но лишь в 20-х гг. прошлого века удалось установить, что некоторые туманности — это гигантские звездные системы, находящиеся далеко за пределами нашей Галактики — Млечного Пути.

Чтобы узнать, находятся ли эти звездные острова в нашей Галактике или являются самостоятельными, надо было определить расстояние до нескольких из них. Э. Хаббл доказал с помощью самого большого в то время рефлектора с зеркалом диаметром 2,5 м, получив четкие изображения отдельных звезд туманности Андромеды и найдя среди них переменные звезды — цефеиды, что спиральные туманности — это гигантские спиральные галактики, подобные Млечному Пути, но безгранично отдаленные от него. Э. Хаббл открыл царство галактик.

Большинство галактик — объекты очень слабой светимости. Всего три галактики заметны невооруженным глазом. Это — Большое и Малое Магеллановы Облака (в южном полушарии неба) и туманность Андромеды. В небольшой телескоп на темном безлунном небе можно увидеть несколько десятков галактик, причем большинство из них едва заметны. А с помощью крупных телескопов доступны наблюдениям многие миллионы галактик до 25-й — 28-й звездной величины. Но даже на лучших фотографиях большинство из них выглядят как маленькие пятнышки, во многих случаях с трудом отличимые от изображения звезд. Такими слабыми галактиками буквально усеяно все небо, они наблюдаются в любом направлении. Лишь на фоне Млечного Пути и рядом с ним далеких галактик практически не видно

из-за поглощения света в межзвездном пространстве нашей Галактики.

Пространство же между галактиками, в отличие от межзвездного, оказалось почти совершенно прозрачным. Именно поэтому наблюдениям доступно так много очень далеких галактик. Несмотря на то, что крупные телескопы позволяют получать изображения миллионов отдаленных галактик, почти все, что мы знаем об их природе, о составе и физических характеристиках, основано на более подробном изучении нескольких тысяч самых ярких из них.

Ближайшие к нам галактики — это Магеллановы Облака. В южном полушарии они видны невооруженным глазом как два облачка, словно “оторвавшиеся” от Млечного Пути. На фотографиях Магеллановых Облаков видно очень мало отдельных звезд и звездных скоплений, принадлежащих этим галактикам. Наблюдения цефеид в Магеллановых Облаках показали, что расстояние до них составляет около 150 000 св. лет. С такого расстояния звезды, подобные Солнцу, можно наблюдать лишь на пределе возможностей современных телескопов.

Туманность Андромеды более чем в 10 раз дальше от нас, чем Магеллановы Облака. Расстояние до нее — около 2 млн св. лет. Но и с такого расстояния с помощью больших телескопов можно наблюдать много звезд высокой светимости, в том числе цефеиды.

Расстояние от более далеких галактик, где цефеиды уже невозможно увидеть, определяется по другим объектам, например по самым ярким звездам галактик, по новым или сверхновым звездам или по шаровым звездным скоплениям. Чем дальше галактика, тем слабее кажутся эти объекты. Это и позволяет сделать приблизительную оценку расстояния до нее. До еще более далеких галактик, в которых отдельные объекты плохо различимы, расстояние определяется методом красного смещения.

Э. Хаббл обнаружил, что в спектрах далеких галактик линии смещены относительно их нормального положения в сторону красной части, и установил, определяя расстояние до галактик по ярчайшим звездам, что скорость разбегания (“разлета”) скоплений галактик пропорциональна расстоянию до галактики. Эта

зависимость получила название закона Хаббла. Закон Хаббла выполняется только для далеких галактик, расстояние до которых превышает 10 Мпк. В настоящее время красные смещения измерены у нескольких тысяч галактик. Самые далекие из них расположены на таком большом расстоянии от нас, что свету требуется свыше 10 млрд лет, чтобы его преодолеть.

Существует множество различных видов галактик. Они различаются по форме, размеру, массе и излучаемой энергии. Э. Хаббл был первым, кто систематизировал галактики по их форме, подразделив их на три типа: эллиптические, спиральные и неправильные.

Эллиптические галактики более или менее напоминают эллипсоид вращения. У них нет спиральных рукавов, а их форма может изменяться от почти сферической до сигарообразной. Около 75% всех галактик во Вселенной являются эллиптическими. По размерам они очень разнообразны. Самые большие достигают в диаметре миллионов световых лет и являются наиболее массивными из всех известных.

Среди спиральных галактик астрономы выделяют два подтипа: пересеченные спирали, у которых есть центральная перемычка из звезд, соединяющая внутренние концы двух спиральных рукавов, и нормальные спирали, у которых рукава начинаются прямо из ядра. Размеры спиралей варьируются от 20 000 до 100 000 св. лет в поперечнике. Млечный Путь по величине здесь оказывается в первых рядах.

Небольшая доля галактик не попадает в какую-либо четкую категорию. Это неправильные галактики, многие из которых являются спутниками более крупных собратьев. Они получили свое название из-за своей неправильной, несимметричной формы. Спиральных ветвей у них нет, зато, как правило, наблюдается много межзвездного газа и областей ионизованного водорода. К числу таких галактик относится Большое Магелланово Облако.

Диски всех галактик вращаются. Измерив скорости их вращения на основании эффекта Доплера, вычисляют массы галактик. Большинство наблюдаемых галактик имеет массу в десятки и сотни миллиардов раз превышающую массу Солнца.

Помимо звезд, в галактиках существует межзвездная среда — газ и пыль, космические лучи, магнитные поля и фотоны. Межзвездная пыль лучше всего заметна в галактиках, диск которых виден нам с “ребра”. Пыль, находящаяся в плоскости диска, поглощает свет звезд, и галактика из-за этого кажется пересеченной темной полосой.

Газ в галактиках исследуется теми же методами, что и в нашей Галактике. Нейтральный водород наблюдается по его излучению по длине волны 0,21 м. Если в галактике есть ионизированный газ, нагретый горячими звездами, то в спектре будут присутствовать лишь излучения этого газа. Межзвездный газ в галактиках обычно составляет несколько процентов полной массы звезд. Больше всего газа встречается в неправильных галактиках (иногда до 50% по массе), меньше всего — в эллиптических, где в большинстве случаев заметных следов газа или пыли нет вообще.

Наблюдения показали, что существует связь между массой межзвездного газа и числом молодых звезд в галактиках: там, где газа очень мало, почти или совсем нет молодых звезд.

Еще одно обстоятельство представляется весьма важным при рассмотрении проблем Метагалактики. Пространство между галактиками заполнено газом, который разогрет до температуры более 10 млн К и излучает преимущественно в рентгеновском диапазоне. Концентрация его мала — в среднем один атом водорода на кубический дециметр, но так как общий объем огромен, полная масса газа сопоставима с суммарной массой всех галактик скопления. Охлаждаясь, газ может струями падать к центру скопления. Значительная часть межгалактического газа скоплений была выброшена миллиарды лет назад из молодых тогда галактик, в которых шло бурное звездообразование.

Чтобы газ столь высокой температуры не покидал скопление, его должна удерживать большая сила тяготения. Но если она достаточно велика, значит, велика и масса, ее создающая, т. е. масса скопления. Оценки массы отдельных галактик показывают, что их суммарное гравитационное поле не может удерживать такой горячий газ. Поэтому необходимо предположить, что существует невидимая для нас так называемая скрытая масса.

С той же проблемой ученые столкнулись и при объяснении устойчивости самих скоплений. Скорость движения галактик внутри них так высока, что без присутствия скрытой массы они просто разлетелись бы в разные стороны.

Скопления галактик, по-видимому — самые крупные устойчивые системы во Вселенной. Существуют и более протяженные образования: цепочки из скоплений или гигантские плоские поля, усеянные галактиками и скоплениями (так называемые “стенки”). Но гравитация не удерживает эти системы, и они вместе с вселенной медленно расширяются.

На протяжении XX в. в трудах А. Эйнштейна, А. А. Фридмана, Э. Хаббла, Жоржа Леметра (1894–1966 гг.), Г. Гамова и других исследователей разработана концепция, согласно которой Метагалактика находится в процессе расширения, “разбегаания” галактик от какого-то первичного центра, в котором и зародилась наша Вселенная. Что предшествовало ей — трудно сказать. Предполагается, что современная Вселенная произошла из материи, находившейся в особом, чрезвычайно раскаленном, сверхплотном состоянии. Примерно 15–20 млрд лет назад этот сгусток материи, “первоатом” в силу еще неясных причин как бы взорвался и стал быстро расширяться с резким падением температуры. В ходе этого процесса расширения Метагалактики, продолжающегося до сих пор, и сложилась та ее структура, которая наблюдается в настоящее время.

Теория расширяющейся Вселенной основана на эффекте Доплера, объясняющем красное смещение разбеганием галактик, а также на экспериментальном обнаружении реликтового излучения.

3.4. Пространство и время

3.4.1. Общие понятия о пространстве и времени

Пространство и время — категории, обозначающие основные фундаментальные формы существования материи. Простран-

ство выражает порядок существования отдельных объектов, время — порядок смены явлений и состояний материи. Они играют главную роль на эмпирическом уровне — непосредственное содержание результатов наблюдений и экспериментов состоит в фиксации пространственно-временных совпадений.

Пространство и время служат также одним из важнейших средств конструирования теоретических моделей, интерпретирующих экспериментальные данные. Пространство и время имеют решающее значение для построения физической картины мира.

Все тела имеют определенную протяженность — длину, ширину, высоту. Они различным образом расположены друг относительно друга, составляют части той или иной системы. Пространство — форма координации существующих объектов, состояний материи. Порядок сосуществования этих объектов и их состояний определяют структуру пространства.

Явления характеризуются длительностью существования, последовательностью этапов развития. Процессы совершаются либо одновременно, либо один раньше или позже другого. Все это означает, что тела существуют и движутся (изменяются) во времени. Следовательно, время — это форма координации сменяющихся объектов и их состояний. Порядок смены этих объектов и состояний определяют структуру времени.

Пространство и время — это всеобщие формы существования, координации объектов. Всеобщность этих форм бытия заключается в том, что это формы бытия всех предметов и процессов, которые были, есть и будут в мире. В мире все простирается и длится.

Правильное понимание сущности пространства и времени тесно связано с научной картиной мира. Представления о пространстве и времени прошли длительный путь развития вместе с развитием научной картины мира от античного периода и до наших дней и включали античную натурфилософию, классическую физику, создание специальной теории относительности, создание общей теории относительности и создание теории микромира — квантовой физики.

По современным представлениям, пространство и время обладают рядом особенностей. Их подразделяют на универсальные (всеобщие) и специфические (всеобщность которых пока что еще обсуждается).

К универсальным свойствам пространства и времени относятся:

- неразрывная связь друг с другом;
- связь с движением материи;
- бесконечность.

Специфическими характеристиками пространства и времени являются:

- трехмерность пространства и одномерность времени;
- однородность и изотропность пространства и однопавленность времени — “стрела времени”;
- непрерывность пространства и времени на макроуровне.

Почему некоторые свойства относятся к универсальным, а другие к специфическим, мы обсудим ниже. Сейчас кратко остановимся на развитии взглядов на пространство и время, начиная с античной натурфилософии.

3.4.2. Греческая натурфилософия

Наиболее видные представители античного естествознания Демокрит и Аристотель высказали следующие суждения о пространстве и времени.

Демокрит считал, что все природное многообразие состоит из мельчайших частиц материи — атомов, которые двигаются в пустом пространстве. Поэтому атомы и пустота являются первоначалами мира, и пустота — это особый род бытия. Пустое пространство Демокрита — это арена действия атомов, некий “ящик”, в котором они заключены и который может существовать независимо от атомов. Пространство является бесконечным, и атомы двигаются в нем бесконечное время. Наряду с бесконечным пространством атомисты рассматривали и дискретные единицы пространства — амеры, которыми характеризовали пространственный минимум занимаемый минимумом материи, — атомом.

В соответствии с атомической концепцией пространства Демокрит решал и вопросы о природе времени и движения.

В дальнейшем они были развиты Эпикуром (341–270 гг. до н. э.), который при рассмотрении движения исходил из дискретного характера пространства и времени. Рассматривая равномерное движение, Эпикур считал, что в процессе перемещения атомы проходят один “атом” пространства за один “атом” времени.

Аристотель больше внимания уделял анализу существования времени, затем трансформировал его в вопрос о существовании делимого времени. Уделяя внимание взаимосвязи времени и движения, он показал, что время немыслимо, не существует без движения. Аристотель в своем труде “Физика” указывал, что понятие времени вырабатывалось в результате наблюдений реальных процессов: “Мы время распознаем, когда разграничиваем движение, определяя предыдущее и последующее, и тогда говорим, что протекло время, когда получим чувственное восприятие предыдущего и последующего в движении”. Аристотель говорил, что “мы не только измеряем движение временем, но и время движением, вследствие их взаимного определения, ибо время определяет движение, а движение — время”.

Аристотель не отрывал время от процессов, происходящих в реальных телах.

Что касается понятия пространства, то Аристотель также отмечал неразрывную связь движения и пространства. Он нащупал связь между пространственными и материальными отношениями: пространственные отношения — это материальные отношения, если нет материальных тел — нет и пространства. И если у атомистов пустое пространство являетсяместилищем материальных атомов, то у Аристотеля “пустоты быть не может”.

Позже математическая теория пространства была разработана Евклидом (евклидова геометрия, которая в дальнейшем была широко использована многими поколениями ученых при построении физических картин мира).

3.4.3. Пространство и время в классической физике

Идеи Демокрита, приписывающего пустоте особый род бытия, были развиты и в наиболее полной форме воплощены в

ньютоновских понятиях абсолютного пространства и абсолютно-го времени. Согласно Ньютону абсолютные пространства и время представляют собой самостоятельные сущности, которые не зависят ни друг от друга, ни от находящихся в них материальных объектов и протекающих в них процессов.

Он следующим образом определяет абсолютные пространство и время в своих “Началах”:

“1. Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью.

2. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему остается всегда одинаковым и неподвижным”.

Так вошла в физику ньютоновская концепция абсолютного пространства и времени.

3.4.4. Пространство и время в специальной теории относительности

В специальной, или частной, теории относительности Эйнштейна (СТО) выявились взаимозависимость пространственных и временных характеристик объектов, а также их зависимость от скорости движения относительно определенной системы отсчета.

Коренным отличием СТО от предшествующих теорий является признание пространства и времени в качестве внутренних элементов движения материи, структура которых зависит от природы самого движения и является его функцией.

Рассматривая относительность длин и промежутков времени, Эйнштейн приходит к выводу о том, что понятие одновременности лишено смысла: два события, одновременные при наблюдении из одной координатной системы, уже не воспринимаются как одновременные при рассмотрении из системы, движущейся относительно данной. В связи с этим возникла необходимость развития преобразований координат (положения тел) и времени от покоящейся системы к системе, равномерно и прямолинейно

движущейся относительно первой. Из этих преобразований вытекает отрицание неизменности протяженности и длительности, величина которых зависит от движения системы отчета.

Выяснились относительность длины и временного промежутка, “равноправность” пространства и времени, инвариантность пространственно-временного интервала.

Важный вклад в понятие “равноправности” пространства и времени внес Герман Минковский (1864–1909 гг.). Он показал органическую взаимосвязь пространства и времени, которые оказались компонентами единого четырехмерного континуума (три пространственных координаты и одна временная). И с этой точки зрения разделение пространства и времени не имеет смысла.

В соответствии с СТО статусом самостоятельной субстанции природы является единое четырехмерное пространство-время.

3.4.5. Пространство и время в общей теории относительности

Еще более сложная связь, по сравнению с СТО, между пространством и временем, с одной стороны, и движением и материей (массой вещества), с другой стороны, при наличии полей тяготения была установлена Эйнштейном в рамках созданной им в 1915–1916 гг. общей теорией относительности (ОТО).

Оказалось, что наличие в пространстве материальных тел (масс тел) приводит к изменению структуры пространства, и оно искривляется. Поэтому для пространственно-временного описания событий в ОТО необходима другая геометрия пространства — неевклидова геометрия. При разработке ОТО Эйнштейн положил в основу геометрию искривленного пространства, разработанную ранее немецким математиком Бернхардом Риманом (1826–1866 гг.).

Таким образом, в ОТО Эйнштейн доказал, что структура четырехмерного пространства-время определяется распределением масс материи. По словам Эйнштейна, раньше считали, что если каким-нибудь чудом все материальные вещи исчезли бы вдруг, то пространство и время остались бы. Согласно же

теории относительности вместе с вещами исчезли бы пространство и время. Следует подчеркнуть, что в ОТО находит наиболее полное воплощение современное представление о пространстве и времени как формах существования материи.

Общая теория относительности — это теория тяготения, теория гравитационного поля. Ее законы проявляются в основном в космических масштабах. Новые свойства искривленного пространства-времени поставили целый ряд новых вопросов и проблем в космологии и космогонии. Это, например, вопросы однородности и изотропности в искривленном пространстве, вопросы конечности и бесконечности Вселенной и ряд других.

Все эти вопросы в той или иной степени обсуждаются в настоящем учебнике в соответствующих разделах.

3.4.6. Пространство и время в физике микромира

Еще более углубились наши представления о пространстве и времени в связи с изучением микромира на основе развития квантовой механики и квантовой теории поля. Выяснилась еще более тесная связь структуры “пространство-время” с материей.

Например, по-иному следует понимать пустоту — вакуум. В квантовой электродинамике вакуум является сложной системой рождающихся и поглощающихся фотонов, электронно-позитронных пар и других частиц. На этом уровне вакуум рассматривается как особый вид материи — поле в состоянии с минимально возможной энергией. Квантовая электродинамика впервые наглядно показала, что пространство и время нельзя оторвать от материи, что так называемая “пустота” (вакуум) — это одно из состояний материи.

Квантовая механика была применена к вакууму, и обнаружилось, что минимальное состояние энергии не характеризуется нулевой ее плотностью. Минимум ее оказался равным уровню осциллятора $0,5h\nu$. Выяснилось, что все волны вместе дают бесконечную плотность энергии. Эта бесконечная плотность энергии пустого пространства таит в себе огромные возможности, которые еще предстоит освоить в физике.

В глубине материи, там, где определяющую роль играют глюон-кварковые взаимодействия, становятся совершенно иными пространственно-временные понятия. Специфике микромира не соответствуют обыденные представления о соотношении части и целого, нарушается пространственная и временная четность, т. е. правое и левое пространственные направления оказываются неэквивалентными. Все эти и многие другие особенности пространства и времени в микромире являются фундаментальными проблемами современной теоретической физики.

Таким образом, становится ясным, какие из свойств пространства и времени являются универсальными (всеобщими) и специфическими (всеобщность которых находится под вопросом). Отнесение к специфическим характеристикам некоторых свойств пространства и времени еще не означает, что где-то опытным путем найдены исключения. Но вся логика стремительного развития естествознания последнего столетия свидетельствует о том, что подобные открытия возможны.

Существуют веские основания считать, что на глубинных уровнях микромира пространство и время прерывны, так же, как и материя, “квантованы”, т. е. складываются из неделимых “порций”. Прогнозируемый квант пространства может иметь размер порядка 10^{-33} см (порядка планковской длины l_p , характеризующий масштаб проявления квантовых свойств), но до реального проникновения в мир таких масштабов современной науке еще далеко.

Немало сомнений имеется и по поводу универсальности пространства, насчитывающего только три измерения. Уже построено немало теоретических моделей многомерных пространств (в теории супергравитации, например, использовано одиннадцать измерений пространства-времени).

То же самое можно сказать и о времени. Сейчас уже не считается универсальной характеристикой однонаправленность времени от прошлого к будущему. Так, в модели пульсирующей Вселенной предполагается, что ныне наблюдаемое расширение Вселенной может при определенных условиях смениться сжатием. А в описывающих эту фазу ее эволюции математических

уравнениях время меняет свой знак с положительного на отрицательный, т. е. как бы “течет вспять”. Имеется и целый ряд других парадоксальных, с нашей точки зрения, явлений.

Универсальные же свойства пространства и времени экспериментально подтверждены более надежно. Специальная теория относительности объединила пространство и время в единое четырехмерное пространственно-временное многообразие (пространство-время). Кроме того, СТО установила также зависимость свойств пространства-времени от скорости движения тел.

А общая теория относительности привела к не менее фундаментальному выводу относительно пространства-времени. Его общий смысл таков: метрические свойства пространства-времени определяются распределением и движением тяготеющих масс материи, и наоборот, силы тяготения в каждой точке пространства зависят от его метрики. Таким образом, пространство и время существуют не “сами по себе”, а в тесной зависимости от свойств материи.

3.5. Принципы относительности

3.5.1. Принцип относительности в классической механике

Важную роль в развитии естествознания сыграл принцип относительности для механического движения, впервые установленный Галилеем и окончательно сформулированный Ньютоном. Для его понимания потребуется ввести понятие системы отсчета или координат.

Как известно, положение движущегося тела в каждый момент времени определяется по отношению к некоторому другому телу, которое называется системой отсчета и с которым может быть жестко связана система координат. Таким образом, механическое движение всегда является относительным, и его описание зависит от того, по отношению к какой системе координат рассматривается это движение.

Среди систем отсчета особо выделяются инерциальные системы, которые находятся друг относительно друга либо в покое, либо в равномерном и прямолинейном движении.

Смысл принципа относительности Галилея заключается в том, что во всех инерционных системах отсчета законы классической механики имеют одинаковую математическую форму записи. А по существу это означает, что из совокупности инерциальных систем невозможно выделить какую-либо одну преимущественную систему. Например, на судне, движущемся равномерно, тело, выпущенное из рук, падает вертикально вниз независимо от того, стоит судно или движется; вода, налитая в сосуд, на движущемся судне, как и в покое, имеет горизонтальную поверхность; на движущемся корабле при выстреле пуля летит столько же времени от носа к корме, сколько от кормы к носу, и т. д.

Для описания механических движений в разных инерциальных системах координат обычно пользуются так называемыми преобразованиями Галилея, которые выражают связь координат материальной точки в условно движущейся (x', y', z') со скоростью V в момент времени t и условно неподвижной (x, y, z) системе координат (рис. 8). Для простоты оси x и x' совмещены.

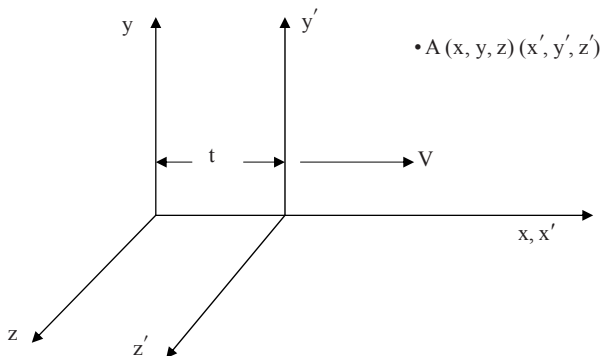


Рис. 8. Преобразование Галилея

Очевидно, что координаты точки A в движущейся системе (x', y', z') связаны с координатами этой же точки в неподвижной системе (x, y, z) следующими соотношениями: $x' = x - Vt$; $y' = y$; $z' = z$.

В классической механике, например, следующим образом выглядит закон сложения скоростей. Пусть материальная точка A движется в системе координат (x', y', z') со скоростью U , а сама система координат (x', y', z') движется со скоростью V относительно системы координат (x, y, z) . Тогда в системе координат (x, y, z) точка A будет двигаться со скоростью $W = U + V$. Действительно, по определению, скорость $U = \frac{dx'}{dt}$, а скорость $W = \frac{dx}{dt}$, а так как

$$x = x' + Vt \text{ (преобразование Галилея), то } \frac{dx}{dt} = W = \frac{dx'}{dt} + V = U + V.$$

Из преобразования Галилея следует, что при переходе от одной инерциальной системы к другой такие величины, как координаты тела, скорость, импульс, кинетическая энергия изменяются. А время, масса, ускорение, сила и, следовательно, все законы Ньютона при таких преобразованиях остаются неизменными, т. е. инвариантными. Это и отражено в механическом принципе относительности Галилея.

3.5.2. Принцип относительности в специальной теории относительности

После создания электродинамики, доказавшей существование в природе еще одного вида материи — электромагнитного поля, которое математически описывается системой уравнений Максвелла, возник вопрос: распространяется ли принцип относительности Галилея и на электромагнитные явления, т. е. сохраняется ли вид уравнений Максвелла при рассмотрении их в различных инерциальных системах координат?

Оказалось, что если воспользоваться преобразованиями координат Галилея, то вид уравнений Максвелла не сохраняется. Это приводило к далеко идущим выводам. В частности, к фундаментальному выводу о том, что законы движения двух материальных субстанций — вещества и поля — существенно различны. Ввиду важности этого обстоятельства начался период длительного и всестороннего рассмотрения этого вопроса, как в

части экспериментального подтверждения такого заключения, так и в части анализа уравнений Максвелла.

Одно из исследований уравнений Максвелла, проведенное Хендриком Антоном Лоренцем (1853–1928 гг.), показало, что можно формально добиться сохранения вида уравнений Максвелла при переходе от одной (x, y, z, t) к другой (x', y', z', t') инерциальной системе координат, если преобразование координат и времени произвести в соответствии со следующей схемой, которую сейчас называют преобразованиями Лоренца:

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \text{где } \beta = \frac{V}{c} \text{ — отношение}$$

скорости движения одной инерциальной системы относительно другой к скорости света.

В дальнейшем оказалось, что эти соотношения на самом деле отражают очень глубокое физическое содержание, а вначале преобразования Лоренца только вызвали целый ряд недоуменных вопросов. Из формул Лоренца следовало, что пространственные и временные преобразования не являются независимыми: в преобразование координат входит время, а в преобразование времени входят координаты, что время в разных системах координат течет по-разному и целый ряд других подобных “странностей”.

Разрешил все возникшие вопросы А. Эйнштейн, создав специальную теорию относительности. Он выдвинул новую радикальную идею о связи пространства и времени. Найденное Эйнштейном решение проблемы потребовало отказа от прежних представлений о том, что пространство и время — совершенно различные и не связанные друг с другом понятия. С точки зрения Эйнштейна, реальный мир представляет собой не трехмерное, а четырехмерное пространство, поскольку оно также должно включать время, так как пространственные и временные координаты неразрывно связаны друг с другом и равноправны, образуя четырехмерное пространство-время.

Анализ принципа относительности Галилея привел Эйнштейна к выводу, что этот принцип является одним из самых

фундаментальных законов, который применим не только к механическим, но и к любым другим явлениям природы — тепловым, электромагнитным, оптическим и т. п. В результате Эйнштейн сформулировал два постулата, лежащие в основе специальной теории относительности:

1. Принцип относительности, который гласит, что в любой инерциальной системе все физические законы описываются одинаковым образом.

2. Принцип постоянства скорости света, утверждающий, что во всех инерциальных системах скорость света в вакууме одинакова и равна $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Первый постулат, по сути, распространяет принцип относительности Галилея для законов механики на законы электродинамики. Второй основан на уже достаточно хорошо установленном экспериментальном факте постоянства скорости света независимо от характера относительного движения источника и приемника света.

Специальная теория относительности Эйнштейна привела к необходимости пересмотра самых фундаментальных понятий естествознания — пространства и времени, материи и движения. Согласно формулам Лоренца:

1) длина отрезка в движущейся системе координат (l) сокращается согласно соотношению $l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$, где l_0 — длина отрезка в неподвижной системе координат; $\beta = v/c$;

2) скорость в движущейся системе координат (v) замедляется согласно соотношению $v = v_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$, где v_0 — время в неподвижной системе координат;

3) масса (m) тела в движущейся системе координат увеличивается с ростом его скорости: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, где m_0 — масса в непод-

вижной системе координат — масса покоя;

4) установлена новая фундаментальная связь между энергией и массой материальных тел, выражающаяся соотношением $E = mc^2$. Покоящееся тело обладает энергией $E = m_0 c^2$.

Из СТО следует, что время, линейные размеры и масса тел являются относительными. Их величина зависит от того, в какой инерциальной системе координат мы их рассматриваем. Оказывается, время в разных системах отсчета течет по-разному, а это значит, что промежуток времени между двумя какими-либо событиями будет зависеть от выбора системы координат, и следовательно, события, одновременные в одной инерциальной системе координат, будут не одновременными в других системах отсчета.

Как и в механике Ньютона, в СТО считается, что пространство однородно и изотропно, а время однородно. Но если в механике Ньютона пространство и время не были связаны между собой, то в СТО они оказываются взаимосвязанными, образуя единое четырехмерное пространство-время.

Одним из следствий СТО является новый (по сравнению с классической механикой) закон сложения скоростей:

$$v_x = \frac{v'_x + v_0}{1 + (v'_x v_0) : c^2}, \text{ где } v_0 \text{ — скорость подвижной системы координат}$$

относительно неподвижной; v_x и v'_x — соответственно скорости тела относительно неподвижной и подвижной системы координат.

Из закона сложения скоростей следует, что если скорость света в какой-либо системе координат равна c , то она будет такой же и относительно любой другой инерциальной системы координат. Действительно, если $v_x = c$ и $v_0 = c$, то $v_x = \frac{c + c}{1 + 1} = c$, т. е. при сложении скоростей никогда не может получиться скорость больше скорости света. Таким образом, скорость света является максимально возможной скоростью в природе.

Из приведенных соотношений относительно длины, времени, массы видно, что эффекты СТО могут быть заметны только при скоростях, близких к скорости света. Если же скорость тела не соизмерима со скоростью света, т. е. $\beta \ll 1$, то так называемые релятивистские эффекты становятся малы, ими можно пренебречь, и тогда релятивистская механика Эйнштейна переходит в классическую механику Ньютона.

В заключение следует подчеркнуть, что все выводы СТО в настоящее время нашли полное экспериментальное подтверждение.

3.5.3. Принципы относительности в общей теории относительности

В СТО законы формулируются для инерциальных систем, движущихся с постоянной скоростью. В ОТО рассматриваются любые системы отсчета, в том числе и движущихся с ускорением. Главное приложение ОТО нашла в изучении движения ускоренных тел в гравитационных полях. ОТО, называемая также теорией тяготения, или гравитации, нашла наибольшее применение в вопросах космогонии.

Из ОТО был получен ряд важных выводов:

1) свойства пространства-времени зависят от движущейся материи, в частности от массы тел. Вблизи массивных тел пространство-время искривляется, и в гравитационном поле распределенных масс пространство становится неевклидовым, а ход времени вблизи этих тел замедляется;

2) луч света должен искривляться в поле тяготения;

3) частота света в результате действия поля тяготения должна изменяться. В результате линии солнечного спектра под действием гравитационного поля Солнца должны смещаться в красную сторону спектра, по сравнению со спектрами соответствующих земных источников.

Все это было настолько принципиально ново, что для утверждения ОТО нужна была ее тщательная экспериментальная проверка.

Отклонение луча света в гравитационном поле Солнца было обнаружено во время солнечного затмения 29 мая 1919 г., в полном согласии с ОТО.

Красное смещение в спектрах небесных тел также было обнаружено в 1923–1926 гг. при изучении Солнца, а в 1925 г. — при наблюдении спектра спутника Сириуса.

Экспериментальное подтверждение выводов ОТО явилось ее триумфом. ОТО произвела переворот в космологии. На ее основе появились различные модели Вселенной.

3.6. Принципы симметрии и законы сохранения

Как известно, в физике имеется целый ряд законов сохранения, согласно которым численные значения некоторых физических величин не изменяются с течением времени при различных процессах. Например, закон сохранения энергии, закон сохранения количества движения, закон сохранения импульса, закон сохранения электрического заряда.

Законы сохранения в физике играют особую роль. Они отражают стабильность природы. Поэтому принципиально важным является знание причин появления в физике этих законов.

В математике известен целый ряд так называемых инвариантных преобразований. Например, в механике — преобразования Галилея, в электродинамике — преобразования Лоренца, в результате которых сохраняются законы механики Ньютона, а в электродинамике сохраняется вид уравнений Максвелла в различных инерциальных системах координат.

Во всех перечисленных случаях — в различного рода процессах в физике или в математических преобразованиях — некоторые величины или параметры остаются неизменными. Оказывается, что всем таким законам в физике или преобразованиям в математике соответствует некоторая симметрия.

В то же время установление некоторой симметрии в физике и математике ведет к установлению новых законов сохранения или инвариантных преобразований. Поэтому выявление и установление симметрии являются одной из наиболее эффективных методологических основ открытия новых законов сохранения в природе. Особенно успешно такой путь познания законов сохранения используется в области изучения физики микромира, физики элементарных частиц, где исследования прямыми методами затруднены в силу малости физического объекта.

В связи с исключительной важностью принципов симметрии рассмотрим подробнее, что понимается под симметрией и почему она играет столь важную роль в современной науке. Что же такое симметрия? Греческое слово *symmetria* переводится

как “соразмерность, пропорциональность, одинаковость в расположении частей”. Часто проводятся параллели: симметрия и уравновешенность, симметрия и гармония, симметрия и совершенство.

Согласно современным представлениям, симметричным называется такой предмет, который можно как-то изменять, получая в результате то же, с чего начали. Таким образом, симметрия предполагает неизменность объекта (каких-то свойств объекта) по отношению к каким-нибудь преобразованиям, операциям, выполняемым над объектом.

Понятие симметрии имеет определенную “структуру”:

1) наличие объекта или явления, симметрии которых рассматриваются;

2) процедура изменения (преобразования), по отношению к которому рассматривается симметрия;

3) установление инвариантности (неизменности, сохранения) каких-то свойств объекта, выражающей рассматриваемую симметрию.

Подчеркнем: инвариантность существует не сама по себе, не вообще, а лишь по отношению к определенным преобразованиям. С другой стороны, изменение (преобразование) представляют интерес постольку, поскольку что-то при этом сохраняется. Иными словами, без изменений не имеет смысла рассматривать сохранение, равно как без сохранения исчезает интерес к изменениям.

Симметрия выражает сохранение какого-либо свойства при каких-то изменениях или, иначе, сохранение чего-то, несмотря на изменения. Таким образом, понятие симметрии основывается на диалектике сохранения и изменения. В физике общепринято выделять две формы симметрии: геометрическую и динамическую.

Симметрию, выражающую свойства пространства и времени, относят к геометрической форме. Примерами геометрической симметрии являются однородность пространства и времени, изотропность пространства, пространственная четность, эквивалентность инерциальных систем отсчета.

Симметрию, непосредственно не связанную со свойствами пространства и времени, выражающую свойства определенных

физических взаимодействий, относят к динамической форме. Примером динамической симметрии является симметрия электрического заряда. Вообще говоря, к динамической симметрии относят симметрию внутренних свойств объектов и процессов. Так что геометрическую и динамическую симметрию можно рассматривать как внешнюю и внутреннюю симметрию.

К основным формам геометрической симметрии прежде всего относятся следующие три вида:

- 1) зеркальная симметрия (симметрия отражения);
- 2) поворотная симметрия (центральная симметрия);
- 3) трансляционная симметрия (симметрия повторения).

Зеркальной называют симметрию, имеющую плоскость, линию или временной раздел двух совершенно одинаковых частей одного целого. Пример — крылья бабочки.

Поворотная симметрия предполагает наличие некоторого центра, относительно которого происходит многократный поворот одного и того же структурного фрагмента. В зависимости от повторяющегося кругового сектора α (в угловых градусах) определяется порядок поворотной симметрии “ n ”. Например, для снежинки с сектором $\alpha = 60^\circ$ порядок поворотной симметрии $n = 6$.

Трансляционной симметрией называется многократное повторение одного и того же фрагмента структуры в пространстве или во времени. Примером трансляционной симметрии может служить любой орнамент.

Примером симметрии в неживой природе являются кристаллические структуры твердых тел. В 1890 г. русский ученый Е. С. Федоров (1853–1919 гг.) описал все возможные сочетания элементов в пространстве, причем доказал, что таких пространственных групп симметрии 230. Используя математический аппарат, Федоров как бы “пересчитал” все возможные пространственные решетки задолго до того, как с помощью рентгеноструктурного анализа была подтверждена истинность этих расчетов.

Особое внимание к вопросам симметрии было привлечено после того, как немецкий математик Амалия Эмми Нетер

(1882–1935 гг.) сформулировала в 1918 г. фундаментальную теорему теоретической физики, установившую связь между симметрией свободного пространства, симметрией времени и законами сохранения в механике.

Пространство можно считать свободным, если вблизи нет тел большой массы. Таким является пространство на значительном расстоянии от Земли и других планет и звезд.

Важным свойством свободного пространства являются однородность и изотропность. Под однородностью пространства понимают тот факт, что в этом пространстве нет особых точек, обладающих особыми свойствами. Из однородности пространства вытекает закон сохранения импульса. Из изотропности пространства вытекает закон сохранения момента импульса.

Под однородностью времени понимается тот факт, что любые явления, происходящие в разное время, но при одних и тех же условиях, протекают совершенно одинаково. Из этого утверждения вытекает закон сохранения энергии.

Важным подтверждением универсальной значимости законов сохранения является то, что они вытекают из самых общих представлений о симметрии, с одной стороны, и из законов движения и взаимодействий — с другой.

В частности, А. Э. Нетер при доказательстве своей знаменитой теоремы провела исследование широко используемого в аналитической механике интеграла действия $S = \int L(q, \dot{q}, t) dt$, где $L(q, \dot{q}, t)$ — функция Лагранжа, с помощью которой описывается некоторая система; q, \dot{q}, t — соответственно обобщенные координаты, скорости (импульсы) и время. В соответствии с вариационным принципом действие S имеет экстремум вблизи истинной траектории, вариация действия вдоль истинной траектории остается неизменной, т. е. $dS = 0$. Вариации действия δS зависят от вариации времени δt и вариации координат δq .

Аналогично выводится закон сохранения момента количества движения.

Кроме того, во всех процессах, происходящих в мире элементарных частиц, выполняется также закон сохранения электрического заряда. Принцип симметрии, лежащий в основе

этого закона сохранения, оказывается более тонким, нежели рассмотренная выше симметрия физических законов относительно пространственно-временных преобразований, выражающихся в виде законов сохранения энергии, импульса, момента импульса. Закон сохранения электрического заряда является следствием так называемой калибровочной инвариантности. Калибровочная инвариантность — один из важнейших принципов теории поля. Можно сказать, что если записать интеграл действия S для системы “заряд — поле” и провести калибровочное преобразование, то действие остается неизменным, а вариация действия будет равна нулю, если заряд равен постоянной величине.

Инвариантность действия при преобразовании калибровки будет иметь место при условии сохранения заряда, т. е. симметрия калибровочного преобразования полей напрямую связана с законом сохранения заряда. Эта общая закономерность справедлива для полей любого характера.

Исследование реакций с участием элементарных частиц и античастиц и процессов их распада привело к открытию некоторых новых свойств симметрии, в том числе симметрии относительно зарядового сопряжения. Если в уравнении какой-либо реакции каждую частицу заменить на античастицу, то получится уравнение, описывающее новую реакцию. Эта операция называется зарядовым сопряжением.

Еще большее значение симметрия играет в квантовой механике. Если здесь установлен принцип какой-либо симметрии, то он всегда позволяет вывести соответствующий закон сохранения.

Возникает вопрос: почему симметрия играет такую исключительную роль в установлении законов сохранения, какое значение она играет в отражении свойств самой природы? Для ответа надо обратиться к истории изучения вопроса о симметрии в природе.

На протяжении тысячелетий в ходе общественной практики и познания законов объективной действительности человечество накопило многочисленные данные, свидетельствующие о наличии в окружающем мире двух тенденций: с одной стороны,

строгой упорядоченности, гармонии, а с другой — их нарушения. Люди давно обратили внимание на правильность формы кристаллов, цветов, пчелиных сот и других естественных объектов и воспроизводили эту пропорциональность в произведениях искусства, в создаваемых ими предметах, ввели понятие симметрии. Симметрия показывает тот способ согласования многих частей, с помощью которого они объединяются в целое.

Пристальное внимание уделяли симметрии Пифагор и его ученики.

Пифагорейцы признавали число сущностью всего окружающего нас мира. Они сводили познание мира к познанию “управляющих им чисел”. Исходя из учения о числе, пифагорейцы дали первую математическую трактовку гармонии, симметрии, которая не потеряла своего значения и в наши дни.

Взгляды Пифагора и его школы получили дальнейшее развитие в платоновском учении о познании. Особый интерес представляют взгляды Платона на строение мира, который, по его утверждению, состоит из правильных многоугольников, обладающих идеальной симметрией.

Среди более поздних естествоиспытателей-философов, занимавшихся разработкой категории симметрии, следует назвать Р. Декарта и Герберта Спенсера (1820–1903 гг.). Разделяя точку зрения древнегреческих мыслителей на возникновение мира из хаоса и его развитие к симметрии (шарообразным телам) в результате идеального кругового движения, Р. Декарт в трактате “Рассуждение о методе” писал: “Каковы бы ни были то неравенство и беспорядок, которые, как мы можем предположить, были с самого начала установлены Богом между частицами материи, почти все эти частицы должны по законам природы приблизиться к средней величине и среднему движению”. Таким образом, по Декарту, Бог, создав асимметричные тела, придал им “естественное” круговое движение, в результате которого они совершенствовались в тела симметричные.

Вопросы симметрии особенно подробно рассмотрены Г. Спенсером в связи с обобщением данных биологии, в частности, морфологии растений и животных. Показывая степень услож-

нения и изменения симметрии, Спенсер приходит к выводу, что изменение находится в причинной зависимости от симметричности или асимметричности условий окружающей среды.

Наиболее полно вопросы симметрии для неживой природы рассмотрены в кристаллографии. Совершенство внешней формы кристаллов давно обратило на себя внимание естествоиспытателей и философов. По мере накопления знаний о природе усиливалось стремление найти причины, порождающие те или иные явления в окружающем мире. В числе других вопросов изучалась и симметрия кристаллов. Но прошло много веков, прежде чем в 1783 г. французский ученый Жан Батист Роме-де-Лиль (1736–1790 гг.) открыл один из важнейших законов кристаллографии – закон постоянства двугранных углов в кристаллах. Закон гласит: углы между соответственными гранями во всех кристаллах одного и того же вещества являются постоянными. Здесь очень важно отметить, что Роме-де-Лиль, исходя из учения об углах единичных кристаллов, поднялся до уровня высокого научного обобщения, распространив закон постоянства углов на кристаллы всех веществ.

Другой французский ученый, Рене Жюст Гаюи (1743–1822 гг.), продолжил работы Роме-де-Лиля и установил еще один важный закон — закон целых чисел. В отличие от Роме-де-Лиля, который считал, что природа скрыла от нас внутреннюю сущность кристаллов, Гаюи для объяснения сущности закона целых чисел создал теорию внутреннего строения кристаллов из многогранных молекул. Опираясь на опытный факт, заключающийся в том, что при дроблении кристалла, например каменной соли, его осколки имеют правильную форму параллелепипедов, он пришел к выводу, что молекулы каменной соли должны иметь такую же форму. Идея о молекулярном строении вещества была основой открытого им закона целых чисел и получила опытное подтверждение.

В 1819 г. Эйльхардом Мичерлихом (1794–1863 гг.) было обнаружено, что близкие по составу вещества кристаллизуются в одинаковых формах, которые им были названы изоморфными, то есть “равноформенными”.

Тремя годами позже Э. Мичерлих открыл явление полиморфизма, заключающееся в том, что некоторые вещества в различных условиях способны образовывать разные по симметрии и форме кристаллы. Хорошо известно, что углерод имеет две кристаллические формы — графит и алмаз. Графит черного цвета, хорошо проводит электрический ток, алмаз прозрачен, электрический ток не проводит. Алмаз — самый твердый из природных веществ, а графит — один из самых мягких минералов. Таким образом, различие в пространственном расположении одних и тех же атомов, различие кристаллических решеток (у графита — гексагональная, у алмаза — кубическая) обуславливает существование полиморфных модификаций, часто резко отличающихся друг от друга своими физическими свойствами.

Одно из основных свойств кристаллов — это анизотропия (разносвойственность), то есть изменение свойств в зависимости от направления. Вместе с тем кристаллы — тела однородные. Это означает, что два участка кристалла одинаковой формы и одинаковой ориентировки одинаковы по своим свойствам. Одни и те же по составу и форме молекулы могут быть “упакованы” в кристалле разными способами, и от этого зависят физико-химические свойства вещества.

В 1813 г. английский ученый Уильям Волластон (1766–1828 гг.) выступил с идеей шарообразных молекул, которые в пределе изображались как математические точки. Упорядоченное расположение этих точек в пространстве привело к возникновению понятия пространственной кристаллической решетки, понятия симметрии решеток.

Решетка кристалла — понятие такого же типа, как и понятие элемента симметрии, с которым мы имеем дело при изучении, скажем, внешней формы кристалла. Эта математическая абстракция дает возможность описывать периодичность кристаллической структуры. Следовательно, структура означает конкретное расположение материальных частиц в кристалле, а кристаллическая решетка — это только математический образ этой структуры.

Симметрия проявляется во внешней форме кристаллов, в физических явлениях, протекающих в них, во взаимодействии кристаллов с окружающей средой, в изменениях, претерпеваемых кристаллами под влиянием внешних воздействий.

Но законы симметрии относятся не только к внешней форме кристаллов, им подчинено и их внутреннее строение. Внешняя форма — это проявление внутреннего строения кристаллов.

В 1830 г. Иоган Фридрих Христиан Гессель (1796–1872 гг.) дал геометрическое доказательство того, что в природе существует только 32 класса кристаллов. Однако на работу Гесселя не обратили внимания, и случилось так, что такая систематика была вновь открыта в 1867 г. русским ученым А. В. Гадолиным (1828–1892 гг.).

Внутреннее строение кристалла дает значительно большее разнообразие элементов симметрии, чем его внешняя форма. Это нашло свое отражение в выведенных Е. С. Федоровым всех возможных сочетаниях элементов симметрии в пространстве. Он “проинвентаризировал” все существующие пространственные решетки задолго до того, как появился рентгено-структурный анализ, который подтвердил истинность этих расчетов.

Большой вклад в кристаллографию и особенно в учение о симметрии внес Пьер Кюри (1859–1906 гг.).

Пьер Кюри очень интересовался физикой кристаллов. Его теоретические и экспериментальные исследования в этой области группировались вокруг общего принципа — принципа симметрии. Он писал: “Когда определенные причины порождают известные следствия, элементы симметрии причин должны вновь появиться в порожденных следствиях... Когда известные следствия имеют в себе известную диссимметрию, эта последняя должна находиться и в породивших явление причинах... Положения, обратные двум предыдущим, неправильны по крайней мере на практике, то есть следствия могут быть более симметричными, чем вызвавшие их причины”¹.

¹ Кюри П. Избранные труды. — М.; Л.: Наука, 1966. — С. 95–113.

Реальные кристаллы, из которых практически состоит вся неживая природа, представляют собой такое сочетание элементов (атомов, молекул, ионов), которое можно охарактеризовать как динамическое единство порядка и беспорядка, симметрии и асимметрии.

Характерно, что к наиболее интересным результатам наука приходила именно тогда, когда устанавливала факты нарушения симметрии. Эту линию можно проследить, например, в астрономических наблюдениях. Галилей считал, что планеты совершают свой путь по естественным круговым орбитам. Нарушение аксиальной симметрии путей планет, открытое Кеплером, привело к созданию классической механики.

Понятие о простейшей симметрии (изотропности и однородности пространства) появились на заре человеческого познания.

Инвариантность законов механики при переходе к равномерно движущейся системе координат (известная также как инвариантность относительно преобразования Галилея) можно считать примером первого по сложности вида симметрии. Эта симметрия — один из исходных принципов ньютоновской механики. Следствия, вытекающие из этого принципа симметрии, изучались физиками в прошлом веке и привели к ряду важных результатов.

Таковыми следствиями законов симметрии являются прежде всего законы сохранения классической физики.

Создание специальной и общей теории относительности привело к тому, что законы симметрии приобрели новое значение: связь между законами симметрии и динамическими законами физики оказалась значительно более тесной и взаимоопределяющей, чем в классической механике.

До появления квантовой механики принципы симметрии были распространены в физике не очень широко. Но теперь их значение резко возросло. Квантовые числа, которые характеризуют состояние системы, часто совпадают с числами, определяющими симметрию системы. Приведем пример: существование античастиц, а именно позитрона, антипротона и

антинейтрона, теоретически предсказывалось как следствие инвариантности физических законов по отношению к преобразованию Лоренца.

Понятия симметрии и асимметрии, которыми пользуются частные науки, далеко не полно отражают существующую в реальном мире симметрию и асимметрию; они развиваются и обобщаются. Как показывает история науки — это понятия, с помощью которых можно объяснить многие явления и предсказывать существование новых, еще не познанных свойств природы. Таким образом, не при помощи идеи симметрии устанавливается порядок “созидания”, а сами симметрия и асимметрия есть отражение объективных свойств материального мира.

В специальных исследованиях по физике и в других отраслях знания встречаются различные определения симметрии, общий смысл которых, как мы уже указывали, можно свести к понятию соразмерности, гармонии, там же употребляются и понятия антисимметрии, асимметрии, дисимметрии, общий смысл которых — нарушение симметрии.

В настоящее время в естествознании преобладают определения категорий симметрии и асимметрии на основе перечисления их определенных признаков. Например, симметрия определяется как совокупность свойств: порядка, однородности, соразмерности, пропорциональности, гармоничности и т. д. Под асимметрией же обычно понимают отсутствие признаков симметрии — беспорядок, несоразмерность, неоднородность и т. д.

Все признаки симметрии в такого рода ее определениях, естественно, рассматриваются равноправными, одинаково существенными, и в отдельных конкретных случаях при установлении симметрии какого-то явления можно пользоваться любым из них. Так, в одних случаях симметрия — это однородность, а в других — соразмерность, и т. д. По мере развития нашего познания к определению симметрии можно прибавлять все новые и новые признаки.

То же самое можно сказать и о существующих в частных науках определениях асимметрии. Это означает, что в определениях понятий, сформулированных по принципу перечисления

свойств объектов, ими отражаемых, отсутствует связь между перечисленными свойствами объектов. Такие свойства симметрии, как, например, однородность и соразмерность, друг из друга не следуют, не вытекают. Другое дело, когда определение основывается на выделении существенных, фундаментальных сторон объекта, к тому же внутренне между собой связанных. Такие определения дают глубокое понятие о соответствующем объекте. Сказанное, однако, не означает бесполезности вышеуказанных определений симметрии и асимметрии. Наоборот, они весьма полезны и необходимы. Без них нельзя дать и более общее определение симметрии и асимметрии как категорий познания, так как на базе, если так можно сказать, эмпирических определений симметрии и асимметрии складываются определения более общего характера. Ведь существо общих определений — в соотнесении частных признаков симметрии и асимметрии к определенным всеобщим свойствам движущейся материи.

Понятия симметрии и асимметрии должны быть такими, чтобы под них подошли все известные и даже неизвестные в настоящее время виды симметрии и асимметрии.

Во всех реальных явлениях симметрия и асимметрия сочетаются друг с другом. И надо думать, что во всех правильных, то есть соответствующих действительности, научных обобщениях присутствуют не просто те или иные виды симметрии или асимметрии, а определенные формы их единства. Так, в преобразованиях Галилея и Лоренца наряду с признаками симметрии существуют и признаки асимметрии: симметричны все состояния покоя и равномерного прямолинейного движения, но асимметричны состояния покоя и ускоренного движения.

Задача нахождения единства симметрии и асимметрии в каких-то явлениях сводится к нахождению таких групп операций, в которых раскрывается как тождественное в различном, так и различное в тождественном. Отсюда следует, что прежде чем поставить задачу нахождения симметрии в данном явлении или совокупности явлений по отношению к каким-то группам операций, необходимо установить различия между сторонами данного

явления или между всеми явлениями. Если же имеется совокупность абсолютно тождественных явлений, то никакой симметрии здесь по отношению к любой группе операции быть не может.

Значит, прежде чем искать симметрию, нужно найти асимметрию. Верным будет и обратное утверждение. Прежде чем была установлена симметрия протонов и нейтронов по отношению к сильным взаимодействиям, было найдено различие между ними, их определенная асимметричность. Частицы и античастицы асимметричны потому, что между ними есть тождественные моменты, в силу чего они и являются зеркальными отражениями друг друга. Значит, единство симметрии и асимметрии заключается в том, что они предшествуют одна другой.

Эта черта противоречивого единства симметрии и асимметрии ярко проявляется в развитии нашего познания.

В историческом развитии физики почти одновременно возникли две взаимоисключающие оптические теории: волновая и корпускулярная. И в течение длительного времени оптика была явно асимметричной. В дальнейшем же было обнаружено, что корпускулярный и волновой аспекты оптических явлений во многом эквивалентны друг другу, заключают в себе тождественные моменты и значит, по отношению друг к другу во многом симметричны.

В электромагнитной теории и сейчас есть ярко выраженная асимметричность, связанная с тем, что противоположные электрические заряды существуют самостоятельно, а противоположные магнитные полюса только вместе, хотя электрические и магнитные поля полностью симметричны.

Происходящие уже многие годы поиски магнитного монополя, предсказанного П. Дираком, по существу, являются поисками симметрии между электрическими зарядами и магнитными полюсами.

И, наконец, отметим, что симметрия покоя и равномерно прямолинейного движения была установлена на основе их противоположности. Таким образом, единство симметрии и асимметрии нужно рассматривать как всеобщее явление, присущее объективной действительности.

В свою очередь, категории симметрии и асимметрии имеют существенное значение для характеристики других всеобщих категорий нашего познания.

Рассмотрим этот вопрос на примере категории закона.

Каждый закон выражает какой-то порядок, какую-то регулярность в пространственном расположении явлений и их следовании друг за другом во времени. Например, законы строения кристаллов выражают порядок в расположении их элементов: молекул, ионов, атомов и их групп. Законы цепных реакций (в физике, химии, биохимии) выражают порядок следования друг за другом их состояний и этапов.

Закон выражает и какую-то однородность, присущую различным явлениям и их взаимодействиям. Здесь понятие однородности означает одинаковость их связей, отношений и структур. Например, у таких различных явлений, как звуковые и электромагнитные волны, есть ряд одинаковых связей и зависимостей: между длиной волн и частотой колебаний, между фазовой и групповой скоростью распространения волн и т. д.

Порядок, или регулярность (что одно и то же), и однородность являются существенными сторонами законов природы. Некоторые исследователи даже склонны считать их главным признаком. В частности, известный физик Юджин Вигнер (1902–1995 гг.) считал, что законами природы называют те регулярности явлений природы, которые пытается раскрыть физика.

Но с регулярностью связан и другой признак — симметрия, стало быть, симметрия также важна, существенна для понимания законов природы.

Так что нахождение симметрии в явлениях и между явлениями — это познание определенных сторон их законов. Иными словами, при помощи симметрии раскрываются весьма важные стороны законов природы. Каждый закон включает в себя определенную симметрию. Но знание симметрии явлений еще не означает полного знания их законов. Симметрия не включает в себя все содержание законов, а только его какую-то важную сторону.

Законы природы действуют в определенных условиях. В связи с этим возникает вопрос о симметричности законов по отношению к различным условиям.

Симметричность законов по отношению к условиям обязательна. К наиболее общим сторонам условий относятся: место и направление в пространстве, интервалы времени и состояния движения. Опыт показывает, что все места и направления в пространстве, все интервалы времени, все состояния равномерного прямолинейного движения тождественны между собой. Поэтому в каком бы месте пространства ни находилась система, функционирующая по определенным законам, их действие всюду будет одинаковым. То же нужно сказать о времени, о скоростях равномерного прямолинейного движения и о направлениях в пространстве. Изменение этих параметров в действии законов ничего не меняет — они остаются полностью симметричными.

Выше уже отмечалось, что одна из основ связи между законами — наличие в них симметрии. Следовательно, если понимать асимметрию несколько формально (как отсутствие всех элементов симметрии), то, казалось бы, напрашивается вывод: наличие асимметрии в содержании законов исключает связь между ними. Но это не так.

Во-первых, наличие асимметрии в содержании законов не уничтожает их содержания и не исключает существование симметрии. Во-вторых, асимметрия, как и симметрия, — основа существования связи между законами. Вот убедительный пример: явная, казалось бы, асимметричность содержания закона возрастания энтропии ни в коей мере не разрывает связи этого закона с законами сохранения и превращения энергии. Совсем наоборот. Известно, что законы сохранения энергии и импульса содержат в себе взаимную асимметрию: энергия — скаляр, импульс — вектор, но между ними существует глубокая связь, раскрытая теорией относительности.

Итак, повторяем, взаимосвязи между законами обусловлены как симметрией, так и асимметрией. Более того, связь между законами, основанная на существовании в их содержа-

нии асимметрии, видимо, даже глубже, чем связь между ними, основанная на симметрии.

Вообще говоря, каждый закон по отношению к каким-то изменениям и условиям асимметричен. Так, законы механики Ньютона асимметричны по отношению к группе преобразований Лоренца. Закон возрастания энтропии явно асимметричен по отношению к переходам различных видов энергии друг в друга и устанавливает, как известно, преимущественную тенденцию превращения всех видов энергии в тепловую энергию. Закон Максвелла о распределении скоростей молекул газа устанавливает преобладание скоростей молекул, близких и средней, по отношению к их большим или меньшим скоростям.

Рассмотрим теперь более детально вопрос об асимметричности законов и условий их действия. Такая асимметричность проявляется в том случае, когда в условиях действия законов на первый план выступают не моменты тождества, а моменты различия. В условиях, например, неоднородного пространства взаимное перемещение тел совершается по различным законам. Законы, которым подчиняются перемещения тел в тождественных условиях, при их нетождественности как бы теряют всякую устойчивость и тонут в хаосе изменений. Инвариантность законов по отношению к асимметричным условиям исчезает.

Но можно ли из этого сделать вывод, что по отношению к асимметричным условиям вообще не может быть законов и что законы действуют только при наличии симметричных условий? Нет, нельзя.

Следует признать, что асимметричность условий не исключает существования закономерностей. Асимметричность условий не исключает и инвариантность законов. Обоснованность этого положения в том, что симметрия — не единственный источник инвариантности, что инвариантность законов обеспечивается теми связями, которые входят в их содержание.

Таким образом, изучение связи между симметрией, асимметрией и законом дает возможность более глубоко представить и содержание этих категорий, и их роль в нашем познании.

3.7. Взаимодействие, близкоедействие, дальнодействие

После открытия закона всемирного тяготения Ньютоном, а затем закона Кулона, описывающего взаимодействие электрических заряженных тел, возник вопрос: почему физические тела, обладающие массой, действуют друг на друга на больших расстояниях через пустое пространство и почему заряженные тела взаимодействуют между собой даже через электрически нейтральную среду?

До введения понятия “поле” на этот вопрос не было удовлетворительного ответа. Долгое время считалось, что взаимодействие между телами может непосредственно осуществляться через пустое пространство, которое не принимает участия в передаче взаимодействий, а передача взаимодействия от тела к телу передается мгновенно, т. е. с бесконечной скоростью. Такое предположение составляет сущность концепции дальнодействия, которую обосновал Р. Декарт. И большинство ученых придерживалось этой концепции вплоть до конца XIX в.

Принцип дальнодействия утвердился в физике еще и потому, что гравитационное взаимодействие макроскопических тел, в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона, малозаметно, поскольку притяжение слишком слабо, чтобы его ощутить. Поэтому экспериментально это было трудно подтвердить или опровергнуть. Только известные опыты Г. Кавендиша были первыми лабораторными наблюдениями гравитационного притяжения.

Напротив, законы взаимодействия электрически заряженных тел допускали возможность их относительно простой проверки. Было установлено, что взаимодействие электрических зарядов происходит не мгновенно. Каждая электрически заряженная частица создает электрическое поле, действующее на другие частицы не в тот же момент, а спустя некоторое время.

Иными словами, взаимодействие передается через посредника — электромагнитное поле. А скорость распространения

электромагнитного поля равна скорости света. Это составляет суть концепции близкодействия.

Согласно концепции близкодействия все взаимодействия между телами (помимо прямого контакта между ними) осуществляются с помощью тех или иных полей. Например, взаимодействие в теории тяготения осуществляется с помощью гравитационного поля, электромагнитные взаимодействия — с помощью электромагнитных полей.

Вплоть до XX в. были известны лишь два типа взаимодействий: гравитационные и электромагнитные.

В настоящее время стали известны еще так называемые слабое и сильное взаимодействие. Эти четыре взаимодействия в современной физике являются фундаментальными.

Пространственное влияние четырех взаимодействий различно. Так, гравитационные и электромагнитные взаимодействия описываются законами “обратных квадратов расстояний” и проявляются во всем пространстве, формально — до бесконечности. Сильные взаимодействия проявляются только в пределах размера ядра порядка 10^{-13} см, а слабые взаимодействия — на расстояниях, в несколько порядков меньших размеров ядер.

Относительная сила взаимодействий следующая. Если сильное взаимодействие взять за единицу, то электромагнитное взаимодействие будет в 10^2 раз меньше, слабое взаимодействие — в 10^{10} , а гравитационное взаимодействие — в 10^{38} раз меньше сильного взаимодействия.

И хотя сила взаимодействий существенно различна, ни одним из них пренебрегать нельзя. Каждое взаимодействие может оказывать решающее влияние на процессы в том или ином конкретном случае. Даже такое взаимодействие, как гравитационное, несмотря на свою кажущуюся малость (в 10^{38} раз меньше сильного взаимодействия) играет, например, доминирующую роль в процессах космического порядка, где присутствуют объекты с огромной массой и большие пространственные масштабы явлений.

Теорию электрослабых и сильных взаимодействий называют стандартной моделью макромира.

После того как была создана единая теория электрослабых взаимодействий, появилась реальная перспектива построения ядерной теории трех форм (за исключением гравитационного) взаимодействий элементарных частиц (программа Великого объединения).

А в самое последнее время появились новые идеи, которые открывают, может быть, далекие, но все же реальные перспективы объединения всех известных четырех взаимодействий, включая и гравитационное. Решение этой задачи ознаменовало бы грандиозную научную революцию, которую даже трудно измерить масштабами всех предшествующих научных революций.

Иными словами, мы сейчас имеем очень продуктивную исследовательскую программу, которая ориентированно ведет к единству всех фундаментальных теорий.

Если такая программа будет реализована, это будет означать, что природа в конечном счете подчинена действию некой суперсилы, которая проявляется в некоторых частных взаимодействиях. Эта суперсила достаточно мощна, чтобы создать нашу Вселенную, наделить ее энергией в соответствующих формах и материей с определенной структурой.

Но суперсила — нечто большее, чем просто сила. В ней материя, пространство-время и взаимодействие слиты в нераздельное гармоническое целое, порождающее такое единство Вселенной, которого раньше никто не предполагал. Современная наука в поиске такого единства.

С концепциями взаимодействия в физике тесно связана концепция физического вакуума. По современным представлениям вакуум — это не “абсолютная пустота”, а реальная физическая система, например, электромагнитное поле в одном из своих состояний. Более того, согласно квантовой теории поля, из состояния вакуума можно получить все другие состояния поля. Вакуум можно определить как поле с минимальной энергией. В вакууме постоянно протекают сложнейшие физические превращения, например, особого рода вакуумные колебания электромагнитного поля, не выходящие из него и не распространяющиеся, но отчетливо проявляющиеся в физическом эксперименте.

3.8. Состояние, принципы суперпозиции, неопределенности, дополненности

3.8.1. Состояние

Мы часто говорим о том или ином состоянии материи. Например, мы выделяем несколько агрегатных состояний вещества: твердое тело, жидкость, газы, плазма; говорим о состояниях электромагнитного поля, имея в виду, какие процессы происходят в нем; говорим об энергетических состояниях атома и т. д.

Говоря о газах, мы называем их состояние изотермическим, адиабатическим, изобарическими, изохорическим. Говоря о жидкостях, мы характеризуем их состояние ламинарным или турбулентным движением. Состояние твердого тела характеризуем наличием или отсутствием кристаллической решетки. Говоря о состоянии плазмы, мы часто имеем в виду наличие тех или иных плазменных частот. Кроме того, некоторые вещества могут находиться в сверхтекучем состоянии или в состоянии сверхпроводимости.

Сегодня известен также еще целый ряд особых состояний материи — это сингулярное состояние, физический вакуум, свободные радикалы и т. д. В атомной физике широко используются понятия возбужденных состояний микрочастиц вещества и полей.

В механике под состоянием материального тела часто понимается его положение в пространстве в определенный момент времени.

Из сказанного видно, что понятие состояния многоплановое. То же самое можно сказать и о многообразии физических характеристик и параметров, определяющих то или иное состояние материи.

Так, в механике Ньютона положение материального тела в любой момент времени определяются тремя параметрами — тремя координатами.

В аналитической механике траекторию движения материального тела можно определить при условии, что мы знаем его

положение в пространстве в какие либо два момента времени t_1 и t_2 , если для этих моментов времени известна функция Лагранжа $L(q, \dot{q}, t)$, где q, \dot{q}, t — обобщенные координаты, обобщенные скорости (или импульсы) и время.

Зная функцию Лагранжа, можно, используя принцип наименьшего действия, составить дифференциальные уравнения, описывающие реальное движение материальных тел. Принцип наименьшего действия заключается в том, что из всех возможных траекторий движения реальной траекторией является та, для которой интеграл действия $S = \int L(q, \dot{q}, t)dt$ будет минимальным.

Функция Лагранжа может быть применена также и при рассмотрении классических физических полей. При этом обобщенными координатами и импульсами являются значения функции поля и их производные по времени в каждой точке пространства-времени. Как и в классической аналитической механике, посредством принципа наименьшего действия функция Лагранжа определяет для поля уравнение движения.

Если говорить об агрегатном состоянии вещества, то мы прежде всего выделяем такие параметры, как температура и давление.

Для газов мы используем известное уравнение состояния идеального газа Менделеева–Клапейрона $PV = RT$, где P, V, T — соответственно давление, объем, температура газа; R — универсальная газовая постоянная.

Для реальных газов используется уравнение состояния $(P + \alpha)(V - \beta) = RT$, где α и β — поправки, учитывающие межмолекулярные силы притяжения или отталкивания. Уравнение состояния вывел Ян Ван-дер-Ваальс (1837–1927 гг.).

Состояние движения жидкости от ламинарного до турбулентного определяется набором параметров (чисел) Стокса, Рейнольдса, Кнудсена, Нуссельта и некоторых других.

Жидкости занимают промежуточное состояние между газами и твердыми телами. Как показали исследования их структуры, молекулы жидкости некоторое время колеблются около положения равновесия. По истечении этого времени (время

оседлой жизни) они перескакивают в новые положения равновесия и колеблются около них. Именно эти перескоки молекул и являются причиной текучести жидкостей, т. е. их способности принимать форму сосуда. Взаимное расположение соседних молекул в жидкости в определенной степени упорядочено, но на расстоянии $r \geq (3 \div 4)d$, где d — диаметр молекул, этот порядок нарушается. Поэтому в жидкостях, в отличие от твердых тел, существует только близкий порядок.

В твердых кристаллических телах порядок называют дальним. В твердых телах атомы и молекулы совершают беспорядочные колебания относительно положений равновесия, когда силы притяжения и отталкивания со стороны соседних атомов уравниваются, т. е. результирующая сила равна нулю.

Различия между жидким, твердым и газообразным состоянием вещества можно объяснить и с энергетической точки зрения. Для этого воспользуемся известной зависимостью потенциальной энергии ($E_{\text{п}}$) взаимодействия молекул вещества от расстояния (r) между ними (рис. 9).

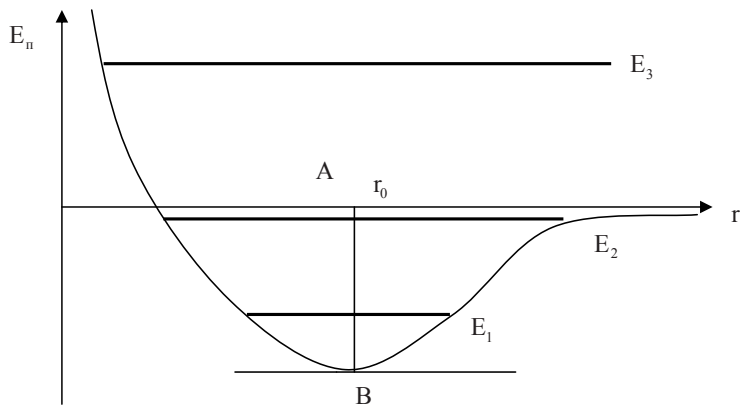


Рис. 9. Зависимость потенциальной энергии взаимодействия молекул от расстояния между ними

Заметим, что в состоянии равновесия ($r = r_0$) потенциальная энергия взаимодействия минимальна.

Теперь рассмотрим среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул для трех случаев (E_1, E_2, E_3). Если энергия E_1 много меньше глубины потенциальной ямы ($E_n = -AB$), то частицы не могут преодолеть силы взаимодействия и будут совершать колебания около положения равновесия. Тело будет находиться в твердом состоянии.

Если энергия $E_2 \approx AB$, то молекулы будут совершать колебания относительно положения равновесия, но в силу флуктуаций энергии они могут выходить за пределы данной потенциальной ямы и совершать колебания около новых положений равновесия. Это будет соответствовать жидкому состоянию вещества.

Если средняя энергия теплового движения больше глубины потенциальной ямы ($E_3 > AB$), то молекулы могут свободно выходить за пределы потенциальной ямы, практически не ощущая ее влияния, т. е. связи с другими молекулами. Такое состояние соответствует газу.

Очевидно, что переход из одного агрегатного состояния в другое определяется внешними условиями — температурой и давлением. При высокой температуре и низком давлении вещество находится в газообразном состоянии; при низкой температуре и высоком давлении — в твердом состоянии; промежуточные условия соответствуют жидкому состоянию.

Изменением температуры и давления можно обеспечить переход вещества из одного агрегатного состояния в другое (из одной фазы в другую). Такие переходы называются фазовыми переходами первого рода.

Наряду с изложенным, существует и другой подход в описании состояния материи, так называемый термодинамический. В этом подходе состояние вещества рассматривается как состояние некоторой термодинамической системы, описываемой совокупностью термодинамических потенциалов.

Термодинамические потенциалы — это определенные функции объема (V), давления (p), температуры (T), энтропии (S), числа частиц системы (N) и других возможных макроскопических параметров (x_i), характеризующих состояние термодинамической системы.

К термодинамическим потенциалам относятся четыре функции: внутренняя энергия $U = U(S, V, N, x_i)$, энтальпия $H = H(S, p, N, x_i)$, энергия Гельмгольца (свободная энергия) $F = F(V, T, N, x_i)$, энергия Гиббса $G = G(p, T, N, x_i)$.

Зная термодинамические потенциалы как функции указанных параметров, можно получить дифференцированием термодинамических потенциалов все остальные параметры, характеризующие систему, подобно тому, как в механике можно определить компоненты действующих на систему сил, дифференцируя потенциальную энергию системы по соответствующим координатам.

Термодинамические потенциалы связаны между собой следующим соотношением: $F = U - TS$; $H = U + pV$; $G = F + pV$. Если известен какой-либо один из термодинамических потенциалов, то можно определить все термодинамические свойства системы, в частности, получить уравнение состояния. При помощи термодинамических потенциалов выражаются условия термодинамического равновесия системы и критерии его устойчивости.

Термодинамические потенциалы широко применяются для получения общих соотношений между физическими свойствами макроскопических тел и анализа термодинамических процессов и условий равновесия в физико-химических гомогенных и гетерогенных системах. Основателем метода термодинамических потенциалов является Д. У. Гиббс, который вместо термина “термодинамические потенциалы” пользовался термином “фундаментальные функции”.

Рассматривая различные способы описания состояния материи, отметим также подход, используемый при рассмотрении процессов на атомно-молекулярном уровне. Здесь состояние систем описываются квантово-механическими волновыми функциями. А состояние, например, атома определяется четырьмя квантовыми числами: основным энергетическим (n), орбитальным (l), магнитным (m) и спиновым (s).

Если говорить о квантовой теории ядерного поля, о квантовой хромодинамике, то формализация параметров состояния

будет гораздо глубже: здесь присутствуют такие параметры, как изотопический спин, “ароматы”, цвета и т. д.

Таким образом, мы видим, что при описании различных состояний материи используется много, казалось бы, совершенно разных приемов, но, тем не менее, все они составляют всего лишь два принципиально разных подхода. Эти два подхода связаны с объектами исследования — объектами макро- и микромира.

Для описания макропроцессов применяется так называемый детерминированный подход, в то время как для микрообъектов используется вероятностный подход.

Основная разница между этими двумя подходами заключается в том, что в первом случае мы можем точно определить весь набор параметров, характеризующих макропроцесс. Например, в случае механического движения мы можем определить место (координаты) и время нахождения материального тела, а также одновременно скорость и энергию тела.

Используемые в квантовой механике для описания микро-частиц волновые функции дают возможность установить лишь вероятность нахождения микрочастиц в том или ином месте пространства в соответствии с принципом неопределенности.

3.8.2. Принцип неопределенности

Такое положение связано с двойственностью частиц микромира. Если считать микроструктуру частицей, то она должна быть локализована в пространстве, а если считать ее волной, то она формально занимает все пространство.

Вероятностный характер волновых функций приводит к парадоксальному выводу: если мы какую-то группу параметров микрочастиц можем знать более или менее точно (с небольшой погрешностью), то существует однозначно связанная с этой группой другая группа параметров, одновременные сведения о которых принципиально получить нельзя. Такими взаимно противоположными, дополнительными, так называемыми канонически сопряженными, переменными в микромире являются координаты и скорость (или импульс), энергия и время, направление и величина момента количества движения, кинетическая

и потенциальная энергия, напряженность электрического поля в данной точке и число фотонов и др. В общем случае из теории следует, что дополнительными друг к другу являются физические величины, которым в квантовой механике соответствуют не коммутирующие между собой операторы.

В 1927 г. один из создателей квантовой механики Вернер Гейзенберг (1901–1976 гг.) сформулировал фундаментальное положение квантовой теории — принцип неопределенности: любая физическая система не может находиться в состояниях, в которых, например, координаты ее центра инерции и импульс одновременно принимают вполне определенные точные значения.

Количественно соотношение неопределенности формулируется следующим образом. Если Δx — неопределенность значения координаты x — центра инерции системы, а Δp — неопределенность импульса p , то произведение этих неопределенностей должно быть по порядку величины не меньше постоянной Планка h , т. е. $\Delta x \Delta p \geq h$. Ввиду малости постоянной h по сравнению с макроскопическими величинами той же размерности, соотношение неопределенности существенно только для явлений атомных масштабов и не проявляется в опытах с макроскопическими телами.

Из соотношения неопределенности следует, что чем точнее определена одна из входящих в неравенство величин, тем менее определено значение другой. Никакой эксперимент не может привести к одновременно точному измерению таких динамических переменных. При этом неопределенность в измерениях связана не с несовершенством экспериментальной техники, а с объективными свойствами микрообъектов. Таким образом, соотношение неопределенностей является квантовым ограничением применимости классической механики к микрообъектам.

3.8.3. Принцип дополнительности

Для описания микрообъектов Н. Бор в 1927 г. сформулировал принципиальное положение квантовой механики — принцип дополнительности. Бор считал, что решающим является признание следующего основного положения: как бы далеко не выходили

явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий. Для полного описания квантово-механических явлений необходимо применять два взаимоисключающих (“дополнительных”) набора классических понятий, совокупность которых дает наиболее полную информацию об этих явлениях как о целостных.

По современным представлениям, квантовый объект – это одновременно и частица, и волна, которые являются классическими понятиями. И для возможно полного представления о микрообъекте мы должны использовать два разных типа приборов: один для излучения волновых свойств, другой — для корпускулярных. Эти свойства являются несовместимыми в отношении их одновременного проявления, но они оба в равной мере характеризуют микрообъект, а поэтому не противоречат, а дополняют друг друга. Эта идея и положена Бором в основу важнейшего методологического принципа современной науки — принципа дополнительности.

3.8.4. Принцип суперпозиции

В физике при изучении линейных систем широко используется принцип суперпозиции. В общем случае принцип заключается в том, что общий результат воздействия на систему многих факторов равен сумме результатов воздействия каждого отдельного фактора.

Принцип суперпозиции играет большую роль во многих разделах физики и техники, в том числе и в теории колебаний и волновых процессов.

Например, если среда, в которой распространяется негармоническая волна S , — линейная, т. е. ее свойства не меняются под действием возмущений, создаваемых этой волной, то все эффекты, вызываемые этой негармонической волной, могут быть определены как сумма эффектов, создаваемых каждой из гармонических составляющих (поскольку каждую негармоническую волну можно представить в виде суммы гармоник), т. е.

$$S = S_1 + S_2 + \dots$$

Особенно плодотворным оказалось применение принципа суперпозиции при изучении микромира. Здесь он стал одним из фундаментальных принципов (наряду с соотношением неопределенностей), составляющим основу математического аппарата квантовой механики. Как известно, состояние микросистем описывается волновыми функциями ψ . Из принципа суперпозиции, например, следует, что если квантово-механическая система может находиться в некоторых конкретных состояниях, описываемых волновыми функциями $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$, то физически допустимым будет состояние, изображаемое волновой функцией $\psi = c_1\psi_1 + c_2\psi_2 + \dots + c_n\psi_n$, т. е. суперпозицией исходных волновых функций (c_1, c_2, \dots, c_n в общем случае — произвольные комплексные числа).

Принцип суперпозиции в описании микромира отражает волновую природу микрочастиц.

3.9. Динамические и статистические закономерности в природе

Рассмотрим два типа физических явлений: механическое движение тел и тепловые процессы. В первом случае движение тел подчиняется законам Ньютона, законам классической механики. Законы классической механики называются динамическими законами, тем самым подчеркивается, что движение происходит под действием тех или иных сил. Динамические законы имеют строго однозначный характер всех связей и зависимостей.

Зная начальное состояние механической системы, можно однозначно определить ее последующие состояния. Динамические закономерности не допускают какой-либо неопределенности системы. Динамические законы действуют во всех автономных малозависимых от внешней среды системах с относительно малым количеством входящих в них элементов (например, характер движения планет Солнечной системы).

Во второй половине XIX в. наряду с динамическими получили широкое развитие так называемые статистические методы исследования в ряде разделов физики.

Классическим примером является статистическое рассмотрение тепловых, термодинамических процессов. В данном случае рассматриваемая система, в отличие от динамической, включает огромное число отдельных элементов. Например полное число молекул газовой системы. И здесь рассматривается не движение каждой отдельно взятой молекулы, а лишь вероятностные ее характеристики.

Используя теорию вероятностей, теорию случайных событий, можно определить усредненные характеристики всей системы и установить статистические закономерности поведения всей системы.

Примером может служить установление статистической закономерности между температурой газа T и кинетической энергией совокупности молекул системы в молекулярно-кинетической теории газа.

Статистические закономерности действуют во всех неавтономных, сильно зависящих от внешней среды системах с большим количеством элементов.

При статистических закономерностях данное состояние системы определяет все ее последующие состояния не однозначно, а лишь с определенной вероятностью.

В классической термодинамике в основном рассматриваются изолированные системы, которые не обмениваются с внешней средой энергией. Именно для таких систем установлен закон возрастания энтропии. Этот закон имеет простое статистическое толкование. Действительно, как было показано выше, энтропия изолированной, то есть предоставленной самой себе, системы, не может убывать. С другой стороны, очевидно, что предоставленная самой себе система будет переходить из менее вероятного состояния в более вероятное. Таким образом, энтропия и вероятность состояний изолированной системы ведут себя сходным образом: они могут либо возрастать, либо оставаться неизменными.

В последние годы широкое развитие получили исследования в области термодинамики неизолированных, так называемых открытых систем, то есть систем, которые обмениваются энергией

и веществом с внешним миром. Такими системами, в частности, являются биологические системы, например, клетки живых организмов. Для таких систем энтропия может как возрастать, так и убывать.

В изолированных системах естественные процессы идут в направлении от упорядоченных структур к неупорядоченным, то есть от порядка к беспорядку, хаосу. И в этом смысле говорят, что энтропия есть мера хаоса.

Для неизолированных, открытых систем эволюция, например, живых организмов ведет от менее совершенных к более совершенным организмам, от меньшего порядка в природе к большему порядку, и в этих системах энтропия может не увеличиваться, а уменьшаться.

3.10. Законы сохранения энергии в макроскопических процессах

Энергия — общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Понятие “энергия” связывает воедино все явления природы.

В соответствии с различными формами движения материи рассматривают и разные формы энергии: тепловую, механическую, внутреннюю, химическую, электромагнитную, ядерную и др. Это подразделение до известной степени условно.

Механическая энергия подразделяется в свою очередь на кинетическую и потенциальную.

Внутренняя энергия равна сумме кинетических энергий хаотического движения молекул относительно центра масс и потенциальных энергий взаимодействия молекул друг с другом.

Химическая энергия складывается из кинетической энергии движения электронов и из электрической энергии взаимодействия электронов друг с другом и с атомными ядрами молекул химических веществ. Энергия химических связей для двухатомных молекул — это энергия, требуемая для удаления атомов на бесконечно большое расстояние друг от друга.

Для многоатомных молекул, радикалов, ионов рассматривается также энергия диссоциации. Суммарная энергия удаления всех атомов многоатомных молекул друг от друга на бесконечное расстояние называется энергией образования молекулы. Она приближенно равна сумме энергии химических связей.

В атомной физике используется понятие энергии ионизации. Она равна работе, затрачиваемой на удаление одного внешнего электрона из атома. Численно она равна так называемому потенциалу ионизации.

В микрофизике широко используется понятие энергии связи. Энергия связи системы каких-либо частиц (например, атома как системы, состоящей из ядра и электронов) равна работе, которую необходимо затратить, чтобы разделить эту систему на составляющие ее частицы и удалить их друг от друга на такое расстояние, на котором их взаимодействием можно пренебречь. Энергия связи определяется взаимодействием частиц и является отрицательной величиной, так как при образовании связанной системы энергия выделяется. Абсолютная величина энергии связи характеризует прочность связи и устойчивость системы.

Энергия связи электронов в атоме или молекуле определяется электромагнитными взаимодействиями и для каждого электрона пропорциональна ионизационному потенциалу. Энергия связи в атомных ядрах определяется сильным взаимодействием нуклонов в ядре и, согласно уравнению Эйнштейна $\Delta E = \Delta mc^2$, пропорциональна дефекту масс атомных ядер Δm .

Энергия связи, обусловленная гравитационным взаимодействием, обычно мала и имеет значение лишь для космических объектов.

Одним из наиболее фундаментальных законов природы является закон сохранения энергии, согласно которому важнейшая физическая величина — энергия — сохраняется в изолированной системе.

Закон сохранения энергии является строгим законом природы, справедливым для всех известных взаимодействий. Согласно теории А. Э. Нетер он связан с однородностью времени, т. е. с тем

фактом, что все моменты времени эквивалентны и физические законы не меняются со временем.

Закон сохранения энергии для механических процессов был установлен Г. Лейбницем еще в 1686 г., для немеханических движений — в середине XIX в. Ю. Р. Майером в 1845 г., Дж. Джоулем в 1843–1850 гг. и Г. Гельмгольцем в 1847 г.

В термодинамике закон сохранения энергии называется первым началом термодинамики.

Открытие закона сохранения и превращения энергии было итогом развития механики. Но, благодаря дальнейшим экспериментальным исследованиям и теоретическому осмыслению их результатов, становилось ясно, что содержание этого закона значительно глубже, что это — всеобщий закон природы. Это позволило быстрыми темпами развивать теорию тепловых процессов, что привело к появлению термодинамики. Особо важную роль закон сохранения и превращения энергии сыграл в изучении электрических и магнитных явлений, своеобразие и специфика которых не допускали применения других механических по своему происхождению понятий.

Рассмотрим эти вопросы подробнее. Становление и утверждение закона сохранения энергии охватывает длительный период — более 150 лет. Как уже было сказано, сначала был установлен закон сохранения энергии для механического движения.

Начальный период был связан с длительной дискуссией о так называемых “мерах движения” и с введением понятия “работа”. В первой половине XVII в. Декарт ввел понятие меры движения — количество движения или импульс, которое в современных обозначениях выглядит следующим образом. Импульс $P = m\bar{v}$, где m — масса (во времена Декарта понятия массы m еще не было); v — скорость; P и v — векторные величины.

Понятием количества движения, равного $m\bar{v}$, пользовались многие ученые того времени, в том числе и Ньютон. Однако в 1686 г. появилась работа Готфрида Вильгельма Лейбница (1646–1716 гг.) “Краткое доказательство примечательной ошибки Декарта...”, в которой он мерой движения предлагал считать величину $m\bar{v}^2$,

названную им “живой силой”, которая в определенных условиях при механическом движении постоянна.

При введении меры движения в виде величины mv^2 Лейбниц рассуждал следующим образом. Известно, что для поднятия тела массой в 1 фунт на высоту в 4 локтя требуются такие же усилия, как и для поднятия тела массой 4 фунта на 1 локоть. Если же предоставить этим телам падать, то в момент касания земли скорость первого тела будет в 2 раза больше скорости второго ($v = \sqrt{2gH}$), где g — ускорение свободного падения, m/c^2 . Значит они будут обладать разным количеством движения (mv). Но если взять произведение массы тела m на квадрат скорости v^2 , то mv^2 будет величиной, одинаковой для обоих тел.

Это произведение mv^2 Лейбниц и выбрал в качестве меры движения. “Живая сила” (mv^2), по мнению Лейбница, выражает то “количество двигательной деятельности, которое сохраняется в природе”.

Теперь мы знаем, что mv^2 — удвоенная кинетическая энергия движущегося тела. Таким образом, Лейбниц, по сути, вначале сформулировал закон сохранения кинетической энергии. Кинетическая энергия E_k по современной терминологии определяется как физическая величина, равная половине произведения массы частицы на квадрат ее скорости: $E_k = \frac{mv^2}{2}$. Это уже знакомая “живая сила” Лейбница, только разделенная пополам. Разделить ее на 2 предложил в 1829 г. французский механик Гюстав Гаспар Кориолис (1792–1843 гг.).

Основанием послужила теорема, доказанная за несколько лет до этого французским математиком Лазаром Никола Карно (1753–1823 гг.). Согласно его теореме, если тело движется под действием постоянной силы, то удвоенное произведение силы (F) на перемещение (s) равно разности “живых сил” в конце и начале перемещения:

$$2Fs = mv^2 - mv_0^2. \quad (1)$$

Тогда это было новым словом в практической механике.

Произведение силы на перемещение в формуле (1) Кориолис вслед за другим французским механиком, Жаном Виктором

Понселе (1788–1867 гг.), назвал работой. Если обозначить ее буквой A и записать

$$A = Fs,$$

то формулу (1) естественно переписать в виде

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}. \quad (2)$$

Появившиеся в знаменателях этой формулы “двойки” дали основание Кориолису принять за меру движения половину лейбницевской “живой силы”.

Теорему, выраженную формулой (2), принято называть теоремой о кинетической энергии. В соответствии с ней работа сил, действующих на тело, равна изменению кинетической энергии этого тела

$$A = E_{K_2} - E_{K_1} = \Delta E_K.$$

Из теоремы следует, что кинетическая энергия равна работе, которую должна совершить сила, приложенная к покоящемуся телу, чтобы сообщить ему заданную скорость движения.

Следующий важный шаг в развитии понятия механической энергии был сделан в 1847 г. Г. Гельмгольцем. Изучая движение тел под действием сил, которые постоянны или зависят от расстояния, но не от времени и скорости, он обратил внимание на то, что левую часть уравнения (2) в таком случае всегда можно представить в виде разности значений некоторой величины, характеризующей взаимодействие рассматриваемых тел.

Поскольку новая величина имела такую же размерность, что и “живая сила”, Гельмгольц предложил и ее назвать “силой”, но не “живой”, а “напряженной”. Впоследствии “напряженная сила” Гельмгольца была переименована в потенциальную энергию. Потенциальная энергия — это энергия взаимодействия. Она определяется работой, которую должны совершить силы, чтобы переместить тело из данного положения в нулевое

$$E_{\Pi} = A_{10}.$$

Выбор нулевого положения произволен. Поэтому потенциальная энергия определена неоднозначно: по отношению к разным нулевым уровням потенциальная энергия одного и того же тела будет различной. Например, потенциальная энергия тела, взаимодействующего с Землей, может быть найдена по формуле $E_{\text{п}} = mgh$, где h — высота центра тяжести тела, отсчитываемая от нулевого уровня. Принимая за нулевой уровень поверхность Земли, пола в комнате или, наконец, стола, над которым находится рассматриваемое тело, мы получим разные значения высоты h и соответственно разные значения потенциальной энергии.

Для потенциальной энергии справедлива теорема, аналогичная теореме о кинетической энергии. По теореме о потенциальной энергии работа консервативных сил при любом движении тела равна разности потенциальных энергий в начальном и конечном состоянии:

$$A = E_{\text{п}1} - E_{\text{п}2} = \Delta E_{\text{п}}.$$

Рассматривая консервативные системы, т. е. системы, в которых действуют лишь консервативные силы, Гельмгольц пришел к выводу, что одна и та же величина может быть выражена и через приращение кинетической энергии системы, и через убыль ее потенциальной энергии. Это означает, что увеличение кинетической энергии рассматриваемой системы всегда сопровождается соответствующим уменьшением ее потенциальной энергии, и наоборот:

$$E_{\text{к}2} - E_{\text{к}1} = E_{\text{п}1} - E_{\text{п}2}.$$

Если переписать равенство в виде

$$E_{\text{к}2} + E_{\text{п}2} = E_{\text{к}1} + E_{\text{п}1}, \quad (3)$$

станет ясно, что сумма кинетической и потенциальной энергий рассматриваемой системы в процессе ее движения не меняется. На основании этого можно объединить обе величины в одну — полную механическую энергию системы:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}.$$

Из соотношения (3) следует, что $E = \text{const}$.

Итак, при любых процессах, происходящих в консервативной системе, ее полная механическая энергия остается неизменной. Это утверждение называется законом сохранения механической энергии.

Поскольку кинетическую энергию Гельмгольц называл “живой силой”, а потенциальную энергию — “напряженной”, то первая формулировка закона сохранения энергии, данная Гельмгольцем в 1847 г., звучала следующим образом: “Когда тела природы действуют друг на друга с силами притяжения или отталкивания, не зависящими от времени и скорости, то сумма живых сил и напряженных сил остается постоянной”.

Следующий этап установления закона сохранения и превращения энергии связан с изучением превращения различных форм энергии друг в друга.

На начальном этапе изучения превращения различных форм движения друг в друга исключительную роль сыграл Н. Л. С. Карно, который впервые занялся изучением вопроса превращения теплоты в работу паровых машин.

Поставив вначале достаточно скромную техническую задачу — как наиболее экономно использовать топливо в паровых машинах, он не только решил эту проблему, но и получил целый ряд принципиально новых результатов, имеющих важное значение для развития многих направлений естествознания.

Во-первых, Карно нашел оптимальные условия работы тепловой машины (цикл Карно), при которых можно добиться максимального коэффициента полезного действия такой машины. Теорема Карно о максимальном коэффициенте полезного действия тепловых машин сыграла в дальнейшем важную роль в установлении одного из фундаментальных законов природы — второго начала термодинамики.

Затем, продолжая свои исследования, он пришел к правильным взглядам на природу теплоты как на совокупность механического движения атомов, из которых состоят физические тела.

Карно сформулировал закон сохранения и превращения “сил” (по современной терминологии — энергии) — закон со-

хранения и превращения тепловой и механической энергии. Он даже впервые приблизительно определил механический эквивалент теплоты.

Противоположную задачу, а именно — исследование обратного процесса превращения работы в тепло в результате трения, поставил Бенджамен Томпсон (1753–1814 гг.). Бывая на пушечных заводах, он заметил, что при сверлении пушечных стволов они очень сильно нагреваются.

Он помещал металлический ствол в воду и в результате сверления доводил температуру воды до кипения и испарения. Подсчитав, сколько энергии необходимо для испарения воды, он установил равенство между этой энергией и механической работой при сверлении стволов пушек. Б. Томпсон также пришел к выводу, что теплота — форма движения.

Изучение процесса превращения теплоты в работу и обратно и установление механического эквивалента теплоты сыграли основную роль в открытии всеобщего закона сохранения и превращения энергии. Все большее и большее место в физических исследованиях занимали явления, в которых происходило превращение одних форм движения в другие. Исследования многих химических, тепловых, электрических, магнитных, механических, световых явлений постепенно способствовали возникновению и развитию идеи о взаимопревращении различных форм движения друг в друга в эквивалентных количественных отношениях.

А к середине XIX в. закон сохранения и превращения энергии был признан общим законом природы, охватывающим все физические явления. Приоритет установления этого закона научная общественность того времени признала за тремя учеными. Из них двое — Майер и Гельмгольц по профессии были врачами, а третий — Джоуль был специалистом в области электрических явлений.

То, что именно врачи Майер и Гельмгольц сделали решающий вклад в установление этого закона, не случайно, поскольку, изучая физиологию человека, обмен веществ в живом организме, они столкнулись с наиболее сложными, комплексными процессами энергопревращения в различных органах и тканях.

Например, Майер обнаружил, что в условиях разного теплообмена между человеком и окружающей средой в северных и южных районах в связи с разными перепадами температур окислительно-восстановительные процессы в организме идут по-разному.

Развивая свои исследования, немецкие ученые осуществили ряд блестящих опытов и расчетов по выявлению связи между отдельными частными видами взаимопревращения энергии.

Майер исследовал процессы перехода механического движения в теплоту и обратно и определил механический эквивалент теплоты (равный $365 \text{ кг} \cdot \text{м/ккал}$), затем процессы превращения механической энергии через трение в электричество и электричества в теплоту.

Гельмгольц изучал процессы превращения кинетической энергии в потенциальную и обратно, превращение механической энергии в теплоту, электрической энергии в теплоту и в механическую энергию при производстве работы за счет электричества.

Джоуль основное внимание уделял изучению процессов выделения тепла электрическим током во всей электрической цепи, в том числе и в гальванических элементах, где происходят электролитические химические реакции. В результате им была установлена связь между тепловой, электрической и, что очень важно, химической энергией.

Он определил, что общее количество теплоты равно теплоте химических реакций, протекающих в гальванических элементах за то же время. Таким образом, им было показано, что источником теплоты, выделяемой в цепи электрического тока, являются химические процессы, проходящие в гальваническом элементе, а электрический ток как бы разносит эту теплоту по всей цепи. Он писал, что электричество может рассматриваться как важный агент, который переносит, упорядочивает и изменяет химическое тепло.

В дальнейшем Джоуль проделал свой знаменитый опыт, в котором более точно определил механический эквивалент теплоты. С помощью падающих грузов он заставлял ось с лопастями

вращаться внутри калориметра, наполненного жидкостью. Изменяя совершаемую грузами работу и выделенную в калориметре теплоту, Джоуль получил механический эквивалент теплоты, равный $424 \text{ кг} \cdot \text{м/ккал}$.

Установление закона сохранения и превращения энергии сыграло в истории естествознания огромную роль. Его утверждение стало своеобразным катализатором для понимания многих явлений, а также обоснования и открытия целого ряда других частных законов природы.

В этом отношении можно привести целый ряд примеров.

Так, закон сохранения энергии сыграл решающую роль в создании новой научной теории — термодинамики.

На основе этого закона был сделан ряд открытий в области электродинамики. Кельвин, используя закон сохранения и превращения энергии, исследовал явления электромагнитной индукции и самоиндукции, установив при этом, что энергия проводника с током может быть выражена соотношением $LI^2/2$, где I — сила тока; L — индуктивность — величина, зависящая только от геометрии проводника.

Исследуя вопрос об энергии магнитов и электрических токов, Кельвин в 1853 г. выразил эту энергию в виде интеграла, взятого по объему.

В том же году Клаузиус применил закон сохранения энергии к энергетическим процессам в цепи постоянного тока, а в следующем году — к термоэлектрическим явлениям.

Помимо Кельвина и Клаузиуса над развитием и применением закона сохранения и превращения энергии много работал Уильям Ранкин (1820–1872 гг.). Он первым начал широко применять термин “энергия” и попытался дать этому понятию общее определение. Под энергией системы вслед за У. Ранкином стали понимать ее способность производить работу.

Еще раньше, в 1853 г., Ранкин разделил энергию на “актуальную, или осязательную” и “потенциальную, или скрытую”. К “осязательной” энергии он относил “живую силу”, теплоту, лучистую теплоту, свет, химическое действие и электрический ток, которые являются ее различными формами. К “потенциальной,

или скрытой” энергии — “механическую силу гравитации”, упругость, химическое средство, энергию статического электричества и магнетизма. Кельвин для “актуальной, или ощутимой” механической энергии ввел впоследствии понятие кинетической энергии движущихся тел.

Установление закона сохранения и превращения энергии было огромным шагом в развитии не только естествознания, но и философии.

Крупный общественный деятель и философ XIX в., автор фундаментального энциклопедического труда “Диалектика природы” Фридрих Энгельс (1820–1895 гг.) ставил закон сохранения энергии в один ряд с открытием клетки и теории Дарвина. “Благодаря этим трем великим открытиям, — писал он, — мы можем теперь в общем и в целом обнаружить не только ту связь, которая существует между процессами природы в отдельных ее областях, но также и ту, которая имеется между этими отдельными областями. Таким образом, с помощью фактов, доставленных самим эмпирическим естествознанием, можно в довольно систематической форме дать общую картину природы как связного целого”.

3.11. Закон возрастания энтропии

Понятие энтропии исторически возникло при рассмотрении и изучении тепловых процессов, при создании термодинамики. К моменту зарождения термодинамики в естествознании господствовала механика Ньютона, механика обратимых процессов, которые могут идти как в прямом, так и в обратном направлении с так называемым обратимым временем.

Например, вращающееся тело проходит при движении одни и те же положения при вращении по часовой стрелке, а затем и против часовой стрелки. Или другой пример: в принципе возможны все механические движения, показанные на киноплёнке, при ее прокручивании как в прямом, так и в обратном направлении. В термодинамике в этом отношении все обстоит иначе.

В 1811 г. Ж. Б. Фурье установил один из основных законов теплопроводности — односторонний переход теплоты от более нагретого тела к менее нагретому. Именно с этого и начался выход физики за пределы ньютоновской схемы.

При переходе теплоты от более горячего тела к более холодному постепенно в процессе такого перехода (во времени) температуры тел выравниваются, температура становится единой для обеих тел, наступает так называемое термодинамическое равновесие. То есть все системы, содержащие различные тела с разной температурой, естественным образом постепенно переходят в состояние термодинамического равновесия с выравниваемой температурой во всех участках такой системы. Такие процессы в силу закона Фурье имеют однонаправленность во времени. Появилось понятие необратимости процессов, необратимости времени, “стрелы времени”.

Итак, первым важным открытием было открытие того факта, что все протекающие естественным образом (без участия внешних сил) тепловые процессы необратимы.

Второе, не менее важное, открытие — установление так называемого второго начала (закона) термодинамики, принадлежит Н. Л. С. Карно, который изучал проблему использования теплоты (тепловой энергии) для преобразования ее в механическую энергию для производства работы в тепловых двигателях. Во времена Карно это были в основном паровые машины. Результаты своих исследований он изложил в 1824 г. в сочинении “Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу”.

Карно установил, что тепловую энергию, которой обладает нагретое тело, невозможно непосредственно превратить в механическую энергию для производства работы. Это можно сделать только в том случае, если часть тепловой энергии тела с температурой T_1 передать другому телу с меньшей температурой T_2 и, следовательно, нагреть его до большей температуры. Иными словами, в механическую энергию для производства работы можно преобразовать только часть тепловой энергии и при обязательном условии, что в системе такого преобразователя

имеются нагреватель с температурой T_1 и охладитель с температурой T_2 . То есть для производства работы механической системы необходима разность температур $T_1 - T_2$.

Все механические системы, использующие тепло, работают “на перепаде температур” между нагревателем и охладителем.

Помимо этого, одного из важнейших открытий XIX в., Карно определил ту часть тепловой энергии, которая может быть переведена в производство механической энергии, в производство работы в тепловых машинах, т. е. нашел значение разности $W = Q_1 - Q_2$, где Q_1 — полная тепловая энергия, отдаваемая нагретым телом в процессе преобразований энергии; Q_2 — часть тепловой энергии, переданная охладителю; W — механическая энергия, полученная в процессе преобразования тепловой энергии.

Определив разность $Q_1 - Q_2$, Карно нашел максимальное значение коэффициента полезного действия тепловых машин (для так называемого идеального цикла Карно), которое оказалось равным $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$. Из приведенного соотношения

следует, что коэффициент полезного действия тепловой машины определяется только значениями температур T_1 и T_2 . Другими словами, движущая сила тепла не зависит от агентов, взятых для ее развития; ее количество определяется температурами тел, между которыми, в конечном счете, производится перенос тепла.

Развивая идеи Карно, Р. Клаузиус ввел важнейшее понятие — “энтропия”.

Постепенно содержание понятия энтропии стало существенно расширяться. Из термодинамики оно сначала перешло в другие разделы физики — механику, электричество, магнетизм, оптику, затем в смежные науки — химию, информатику, биологию и сейчас стало одним из важнейших понятий современного естествознания наряду с таким, например, понятием, как энергия. Бытует даже такое метафорическое высказывание: “Энергия — царица мира, а энтропия — ее тень”.

Клаузиус обратил внимание на то, что из выражения Карно для максимального коэффициента полезного действия тепловой машины $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$ следует, что $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$. Это соотношение, как известно, справедливо только для идеального обратимого цикла работы тепловой машины — цикла Карно. Отношение $\frac{Q}{T}$ и называется энтропией. Таким образом, по мысли Клаузиуса, энтропия $S = \frac{Q}{T}$ характеризует превращение. К такому понятию энтропии мы еще вернемся в дальнейшем.

Итак, для циклических обратимых процессов верно соотношение $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$. Реально же все процессы теплопередачи, в соответствии с законом Фурье, являются необратимыми, и при передаче количества тепла Q от горячего тела (с температурой T_1) к холодному (с температурой T_2) энтропия $S_1 = \frac{Q}{T_1}$ будет меньше энтропии $S_2 = \frac{Q}{T_2}$ в силу того, что $T_1 > T_2$ и, следовательно, изменение энтропии $\Delta S = S_2 - S_1$ всегда положительно. То есть в реальных процессах энтропия термодинамической системы будет возрастать.

Закон возрастания энтропии справедлив для любой изолированной системы. Это обстоятельство указывает на асимметрию природных явления, т. е. на однонаправленность происходящих в природе процессов. Раскрытие в дальнейшем более глубокого смысла энтропии, а также установление закона возрастания энтропии привело к целому ряду очень важных, далекоидущих следствий.

Исследование энтропии в дифференциальной форме $dS = \frac{dQ}{T}$ показало, что dS является полным дифференциалом, и, следовательно, энтропия не зависит от вида физического процесса, а определяется только состоянием системы. Поэтому энтропия является функцией состояния.

Кроме того, оказалось, что с помощью энтропии удобно исследовать не только тепловые процессы, но и процессы преобразования других видов энергии в тепловую. Так, механическая энергия в результате трения переходит в тепловую, электрический ток нагревает проводники тока, электромагнитное поле нагревает среду, через которую оно распространяется, и т. д. То есть все естественные процессы в конечном счете ведут к превращению всех видов энергии в тепловую.

Постепенно возникло представление о качестве разных видов энергии и деградации с точки зрения ее качества. Под качеством энергии понимается возможность использования того или иного вида энергии для производства полезной работы.

Сейчас принята следующая иерархия качества энергии в указанном смысле: ядерная, электромагнитная, химическая, механическая и тепловая энергия. При этом каждому виду энергии соответствует свое значение энтропии. Оно имеет минимальное значение для энергии высокого качества и возрастает при превращении всех видов энергии в тепловую и переходе системы в термодинамическое равновесие, при котором энтропия достигает максимальной величины.

В связи в этом значение энтропии (“превращение”) характеризует меру обесценивания энергии. Там, где происходят процессы изменения и преобразования энергии, следует ее “тень — энтропия”.

Сегодня, как уже говорилось, понятие энтропии и знание ее величины необходимы при рассмотрении различных вопросов в физике (изучении фазовых переходов между твердым телом, жидкостью и газом, определении теплоты плавления кристаллов, теплоты парообразования). При плавлении и испарении происходит изменение энтропии систем. Термодинамические основы растворения одних веществ в другие также требуют знания энтропии.

То же касается радужных пленок на поверхности воды. Возрастание растворимости веществ с температурой связано с возрастанием энтропии. Расслоение бензина на поверхности воды также вызывается энтропией. Изменение энтропии выталкивает молекулы углеводородов из водного окружения.

Энтропия играет важную роль во всех естественно-научных дисциплинах. В химии, например, при изучении процессов окисления, изучении реакций со взрывом, оценке возможности или невозможности протекания многих реакций, исследовании скоростей протекания тех или иных реакций и многого другого.

Исключительно широкое значение имеет энтропия в информатике, в частности, при расчетах пропускной способности различных линий связи и систем передачи информации.

Установление закона возрастания энтропии для замкнутых, изолированных систем, который был распространен и на Вселенную, привело создателей термодинамики Клаузиуса и Кельвина к теории “тепловой смерти”. Основанием послужило то, что все виды энергии постепенно переходят в тепло, а тепловые процессы связаны с ростом энтропии и необратимо ведут к термодинамическому равновесию, при котором никакие дальнейшие преобразования энергии невозможны, и следовательно, невозможны никакие процессы, что равнозначно смерти.

В соответствии с молекулярно-кинетической теорией тепловое равновесие системы характеризуется наиболее беспорядочным, хаотичным, неупорядоченным движением всей совокупности атомов и молекул, из которых состоят вещества. И максимум энтропии системы, следовательно, соответствует максимуму хаоса, максимуму неупорядоченности. Таким образом, выводы были следующими: все процессы в природе с течением времени ведут к возрастанию энтропии, т. е. к созданию все большей неупорядоченности, к хаосу, к деградации.

Это положение пришло в противоречие с открытым Дарвином законом эволюционного развития живых систем от примитивных животных до высокоорганизованных, от менее упорядоченных — к более упорядоченным живым системам, от менее развитых — к более развитым. Такое противоречие сохранялось почти сто лет и только во второй половине XIX в. было снято на основе энтропийного понимания процессов в живой природе.

К живым системам закон возрастания энтропии непосредственно не применим, поскольку живая система является не изо-

лированной, а открытой. Она обменивается с окружающей средой веществом и энергией. В живой организм с пищей поступает более высококачественная (по сравнению с тепловой) химическая энергия в виде химических соединений — продуктов питания, что понижает энтропию живой системы. Понижение энтропии эквивалентно поглощению живой системой отрицательной энтропии (отрицательную энтропию называют негэнтропией). И в этом смысле становится понятным высказывание Шредингера о том, что живой организм питается отрицательной энтропией (или негэнтропией). В целом же в системе “живая материя — среда обитания” закон возрастания энтропии выполняется.

Из чего складывается изменение энтропии открытой системы?

Во-первых, внутри системы могут происходить различные процессы, в результате которых энтропия системы меняется на величину $d_i S$, где d_i — изменение энтропии, производимой внутри системы.

Во-вторых, имеется поток энтропии в систему или из нее. Энтропия изменяется как в результате теплообмена с окружением, так и в результате обмена веществ. Ведь энтропия — это функция состояния вещества, вместе с веществом энтропия поступает в систему или выходит из нее.

Обозначим изменения энтропии, связанное с ее притоком или оттоком, $d_e S$, где d_e — изменение энтропии, производимой вне системы. Тогда общее изменение энтропии открытой системы равно $dS = d_i S + d_e S$. Знак энтропии, производимой внутри системы, $d_i S$ всегда положителен. Знак $d_e S$ может быть и положительным и отрицательным в зависимости от конкретных условий. Приток энтропии в систему может быть больше или меньше ее оттока. А изменение энтропии открытой системы в целом (dS) также может быть в общем случае положительным, отрицательным или равным нулю.

Наибольший интерес представляют два последних случая: $dS < 0$ или $dS = 0$. Изменение энтропии может быть отрицательным, если $d_e S < 0$ и $|d_e S| > d_i S$ и равным нулю, если $d_e S < 0$, а $|d_e S| = d_i S$. Эти случаи соответствуют условиям, когда либо отток энтропии из системы превышает ее производство

внутри системы, либо происходит точная компенсация производства энтропии ее оттоком.

В первом случае в зависимости от величины $dS < 0$ мы имеем дело с нестационарными процессами в системе различного масштаба. В случае $dS = 0$ в системе устанавливается некоторый стационарный процесс.

В различных приложениях важно знать не только значение энтропии системы, но и скорость изменения энтропии во времени $\frac{dS}{dt} = \sigma$. Величину σ принято называть функцией диссипации.

Она характеризует производство энтропии в единицу времени в единице объема рассматриваемой системы. При этом функция диссипации σ всегда положительна.

При рассмотрении различных физических, химических, биологических и других процессов важно знать, от чего и как зависит скорость производства энтропии в различных системах. Изучение этого вопроса привело к весьма интересному и важному выводу. Оказалось, что в процессах производства энтропии всегда существуют поток некоторой величины и сила, создающая этот поток. Поясним это на нескольких примерах.

Первый пример — вычисление функции диссипации в тепловых процессах. При соприкосновении двух нагретых тел с разной температурой возникает поток тепла (поток энергии) от более теплого тела к менее теплому. Поток продолжается, пока имеется разность температур. То есть движущей силой в производстве энтропии в данном случае является разность температур. Но характер зависимости энтропии от температуры в данном случае таков, что следует пользоваться разностью обратных значений температур $\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}$, где

$T_1 > T_2$, и в процессах теплопроводности функцию диссипации можно представить в виде $\sigma = \frac{dE}{dt} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$, где $\frac{dE}{dt}$ — поток тепловой энергии, обусловленный разностью температур.

Легко видеть, что $\sigma > 0$, а функция диссипации выражается произведением потока и силы, его вызывающей. Это универсальное определение.

Второй пример — из области электропроводности — показывает, что энтропия производится и в электрических процессах. Пусть имеется поток электронов — электрический ток $I = dq/dt$, где q — электрический заряд. Движущей силой в данном случае является электродвижущая сила — разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$. Тогда функция диссипации $\sigma = \frac{dq}{dt} (\varphi_1 - \varphi_2) \frac{1}{T} = I \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{T}$, где $I(\varphi_1 - \varphi_2)$ — электрическая мощность. Множитель $\frac{1}{T}$ вводится из соображений размерности.

И наконец, третий пример — вычисление функции диссипации в химических процессах, где также производится энтропия. Химические реакции между разными веществами определяются так называемыми химическими потенциалами, разность которых A и является действующей силой реакции. Что касается потока, то его роль играет скорость химической реакции V , т. е. число молей вещества, испытывающих превращение в единицу времени. Получаем, что функция $\sigma = A \frac{V}{T}$. Температура T здесь также введена из соображений размерностей.

Во всех перечисленных случаях реализуются необратимые процессы. В неравновесных процессах может протекать одновременно несколько таких процессов. Энтропия, достигшая максимума, больше не возрастает. В равновесии нет разности температур, $T_1 = T_2$ и поток тепловой энергии прекращается, т. е. $\frac{dE}{dt} = 0$; $\varphi_1 = \varphi_2$ и электрический ток прекращается, разность химических потенциалов $A = 0$ и реакции прекращаются, $V = 0$.

При малых отклонениях от равновесия между потоками и силами имеются линейные зависимости, т. е. простая пропорциональность. Так, при теплопроводности поток теплоты, т. е. поток энергии $\frac{dE}{dt}$, пропорционален разности температур $T_1 - T_2$. При

электропроводимости электрический ток пропорционален разности потенциалов $I = \alpha (\varphi_1 - \varphi_2)$ (закон Ома), где α — электропроводимость, величина, обратная сопротивлению; $\alpha = \frac{1}{R}$.

Если одновременно протекает несколько необратимых процессов, то оказывается, что эти процессы являются сопряженными друг с другом. Это означает, что поток, характеризующий какой-либо данный процесс, зависит и от сил, определяющих остальные процессы линейным образом. Это так называемые условия Онсагера. Это приводит к тому, что при общем росте энтропии всей системы имеются отдельные процессы, идущие с уменьшением энтропии в результате сопряжения с энтропийно выгодными процессами.

При малых отклонениях параметров систем от равновесного или стационарного состояния в области их линейной зависимости система плавно возвращается в стационарное состояние, причем скорость изменения энтропии уменьшается и функция диссипации σ убывает, т. е. $d\sigma/dt < 0$. Как показал один из создателей неравновесной термодинамики Пригожин, продукция энтропии в стационарном состоянии наименьшая по сравнению с другими состояниями систем.

Если системы находятся в состоянии, далеком от равновесия, то при определенных условиях в них происходят процессы, связанные с уменьшением энтропии, что ведет к процессам упорядочения систем, переходу их на более высокий уровень организации.

В настоящее время считается признанным, что указанный механизм лежит в основе процессов самоорганизации в неживой и живой природе.

Глава 4. ХИМИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ

4.1. Химические системы, энергетика химических процессов, реакционная способность веществ

Химия — наука, изучающая превращения веществ, сопровождающиеся изменением их состава и (или) строения. С конца XIX — начала XX в. важнейшим направлением химии стало изучение закономерностей химических процессов.

В предыдущих разделах было показано, что существует природа “химизма”, которая заключается во внутренних силах, объединяющих атомы в молекулы (или кристаллы) как единую квантово-механическую систему. Этими силами являются химические связи. Образование химической связи сопровождается перестройкой электронных оболочек связывающихся атомов. В результате того, что физика открыла природу “химизма” как обменного взаимодействия электронов или ионной связи, химия стала принципиально по-новому решать проблему химического соединения.

Химическое соединение возникает в результате синтеза исходных веществ, который крайне упрощенно можно выразить уравнением $A + B = C$, где A и B — исходные вещества; C — синтезированное вещество.

Исторически химические процессы рассматривались на основе учета основных законов классической химии, которые можно подразделить на две группы: законы стехиометрии и законы химического строения вещества.

К законам стехиометрии относятся:

1. Закон постоянства состава химически индивидуальных веществ: химически чистое соединение имеет одинаковый состав независимо от способа его получения (например, поваренная соль имеет одинаковый состав во всем мире).

2. Закон пропорциональности: весовые количества веществ, участвующих в тождественных химических процессах, всегда определены (например, для нейтрализации конкретного количества кислоты всегда требуется определенное количество щелочи).

Законы химического строения вещества относятся к органической химии, они включают следующие теории:

1. Теорию радикалов (Й. Берцелиус и др.): определенная группа атомов углерода и водорода (СН-радикалы) способна оставаться неизменной при всех химических реакциях.

2. Теорию химического строения (А. М. Бутлеров, 1828–1886 гг.): сущность органических соединений определяется не наличием радикалов, а химическим строением. Истинность теории подтверждается существованием изомеров — порядком связи атомов в молекулах и взаимным влиянием веществ, имеющих одинаковый состав, но разную структуру, а значит, различные свойства.

3. Теорию типов (Шарль Фредерик Жерар, 1816–1856 гг.): для органических соединений свойственно не существование неизменных радикалов, а наличие нескольких типов соединений (производные воды, аммиака и др.). Органическое вещество получается в результате замещения в молекуле одного или нескольких (группы) атомов на другую группу атомов.

4.1.1. Энергетика химических процессов

При химической реакции выделяется или поглощается энергия, так как реакция сопровождается перестройкой энергетических уровней атомов или молекул веществ, участвующих в ней, и веществ, образующихся в ходе реакции. Вопросы энергетики химических процессов рассматриваются в разделе химии, который называется химической термодинамикой, и ее частным разделом — термохимией.

Реакции, при которых наблюдается выделение энергии (Q), называются экзотермическими ($Q > 0$). Реакции, идущие с поглощением энергии, называются эндотермическими ($Q < 0$).

Выделение или поглощение энергии в результате процесса зависит от соотношения количества энергии, затраченной на разрыв или возбуждение химических связей первоначально взятых веществ, и энергии, выделяющейся в результате образования новых химических связей в продуктах реакции.

Энергия, образующаяся в результате химических реакций, может выделяться в разных формах, но, конечно, в эквивалентных количествах. Так, например, фотохимические процессы при фотографии развиваются при поглощении квантов лучистой энергии галоидами серебра и, наоборот, можно построить источник когерентного излучения — лазер, работающий на энергии химических реакций.

Затрачивая электрическую энергию, можно выделять нужные вещества из растворов или расплавов путем электролиза. Получить электрическую энергию можно за счет химических реакций, протекающих в гальванических элементах или аккумуляторах.

Чаще всего в результате химических реакций выделяется или поглощается тепловая энергия. Для таких реакций справедливы следующие два закона термохимии:

1. *Первый закон термохимии* (Лавуазье–Лапласа): тепловой эффект образования данного соединения в точности равен, но обратен по знаку тепловому эффекту его разложения.

Из закона Лавуазье–Лапласа следует невозможность построить вечный двигатель 1-го рода, использующий энергию химических реакций.

2. *Второй закон термохимии* (Г. И. Гесс, 1802–1850 гг.): тепловой эффект химической реакции при отсутствии работы внешних сил не зависит от характера и последовательности отдельных ее стадий и определяется только начальными и конечными продуктами реакции и их физическим состоянием.

Утверждение о том, что тепловой эффект процесса не зависит от его отдельных стадий и их последовательности, позволяет

рассчитывать тепловые эффекты реакций для случаев, когда их определить экспериментально или очень трудно, или вообще невозможно. Применение закона Гесса чрезвычайно расширило возможности термохимии, позволяя производить точные расчеты тепловых эффектов образования целого ряда веществ.

Химическая термодинамика, так же, как и общая термодинамика, основана на двух началах (законах).

4.1.2. Реакционная способность веществ

Изучение химических реакций показывает, что они могут протекать с весьма различными скоростями. Иногда реакция идет настолько быстро, что практически ее можно считать мгновенной; таковы, например, многие реакции между солями, кислотами и основаниями, протекающие в водных растворах, или реакции, которые мы называем взрывами. В других случаях, наоборот, скорость реакции так мала, что для образования заметного количества продуктов реакции нужны были бы годы, а то и столетия.

Скорость реакции измеряется изменением концентраций реагирующих веществ в единицу времени. Концентрацией называется количество вещества в единице объема. Скорость каждой реакции зависит от природы реагирующих веществ, от их концентраций и от условий, в которых реакция протекает (температура, давление, присутствие катализаторов).

Зависимость скорости реакции от концентраций реагирующих веществ легко понять, исходя из молекулярно-кинетических представлений. Молекулы газов, двигаясь в различных направлениях с довольно большой скоростью, неизбежно должны встречаться, сталкиваться друг с другом. Взаимодействие между молекулами, очевидно, может происходить только при их столкновениях, следовательно, чем чаще будут сталкиваться молекулы, тем быстрее будет идти превращение взятых веществ в новые, тем больше будет скорость реакции.

Таким образом мы приходим к выводу: скорость химической реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ. Это очень важное положение было уста-

новлено в 1867 г. норвежскими учеными Като Максимилианом Гульдбергом (1836–1902 гг.) и Петером Вааге (1833–1900 гг.) и получило название закона действующих масс.

Математическое выражение закона действующих масс для реакции типа $A + B = C$ выглядит следующим образом:

$$v = K [A] [B],$$

где v — скорость реакции;

$[A]$ и $[B]$ — концентрация веществ;

K — коэффициент пропорциональности — постоянная для данной реакции при данной температуре величина, называемая константой скорости и характеризующая влияние природы реагирующих веществ на скорость их взаимодействия друг с другом.

Несколько иной вид имеет этот закон для скорости реакции, когда во взаимодействие вступает не одна, а несколько молекул какого-нибудь вещества, например: $2A + B = D$ или $A + A + B = D$.

Чтобы это взаимодействие могло осуществиться, должно произойти одновременное столкновение двух молекул вещества A и одной молекулы вещества B . Математический анализ показывает, что концентрация вещества A должна в таком случае дважды появиться в уравнении скорости реакции

$$v = K [A] [A] [B] = K [A]^2 [B].$$

В общем случае, когда m молекул вещества A одновременно реагируют с n молекулами вещества B , уравнение закона действующих масс имеет вид

$$v = K [A]^m [B]^n.$$

Скорость всякой реакции непрерывно уменьшается с течением времени, так как взаимодействующие вещества постепенно расходуются и концентрации их становятся все меньше и меньше.

Поэтому, говоря о скорости реакции, всегда имеют в виду скорость в данный момент, то количество вещества, которое подверглось бы превращению, если бы существующие в данный

момент концентрации поддерживались искусственно в течение определенного промежутка времени.

На практике при измерении скоростей реакций часто приходится встречаться с кажущимися отклонениями от закона действующих масс. Это объясняется тем, что многие реакции протекают в несколько стадий, т. е. распадаются на несколько последовательных более простых процессов. Закон действия масс справедлив в этом случае для каждого отдельного элементарного процесса, но не для всей реакции в целом.

Кроме концентрации, очень важным фактором, определяющим скорость реакции, является температура. Опытным путем установлено, что при повышении температуры на каждые $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость реакции увеличивается в 2–3 раза. При понижении температуры скорость реакции во столько же раз уменьшается. Число, показывающее, во сколько раз увеличивается скорость данной реакции при повышении температуры на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, называется температурным коэффициентом реакции.

Значительное увеличение скорости реакции при повышении температуры нельзя объяснить одним только увеличением числа столкновений между молекулами. Согласно кинетической теории скорость движения молекул растет пропорционально корню квадратному из абсолютной температуры, тогда как скорость реакции увеличивается гораздо быстрее. Следует считать, что повышение температуры не только вызывает более частые столкновения, но и увеличивает число эффективных столкновений, в результате которых происходит химическое взаимодействие, т. е. увеличивает относительное количество активных молекул. Это может быть объяснено тем, что по мере повышения температуры молекулы становятся менее устойчивыми и, следовательно, более склонными к химической реакции.

Еще одним фактором, оказывающим огромное влияние на скорость реакции, является присутствие катализаторов — веществ, которые изменяют скорость реакции, но сами после реакции остаются химически неизменными и в том же количестве, что и до реакции. Обычно влияние катализаторов выражается в

ускорении реакции. Иногда применение катализаторов может увеличить скорость реакции в 1000 и более раз. Чаще всего катализаторами служат мелко раздробленные металлы.

Рассматривая влияние различных условий на скорость реакций, мы разбирали главным образом реакции, идущие в однородных, или гомогенных, системах (смесь газов, растворы). Значительно сложнее протекают реакции в гетерогенных системах.

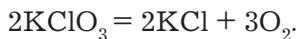
Гетерогенной называется система, состоящая из двух или нескольких частей, различающихся по своим физическим или химическим свойствам и отделенных друг от друга поверхностями раздела. Отдельные однородные части гетерогенной системы называются ее фазами. Например, лед, вода и находящийся над ними пар образуют гетерогенную систему из трех фаз: твердой (лед), жидкой (вода) и газообразной (водяной пар); кислота и опущенный в нее кусок металла образуют систему из двух фаз и т. д.

В гетерогенной системе реакция всегда происходит на поверхности раздела двух фаз, так как только здесь молекулы той и другой фазы сталкиваются между собой. Поэтому скорость гетерогенной реакции зависит не только от рассмотренных выше факторов, но и от величины поверхности соприкосновения между реагирующими фазами. Всякое увеличение поверхности приводит к увеличению скорости реакции. Так, например, измельченный уголь, обладающий большой поверхностью, сгорает гораздо быстрее, чем уголь в крупных кусках; растворение металлов в кислотах значительно ускоряется, если взять металлы в виде порошков, и т. д. Важным фактором, обуславливающим скорость гетерогенной реакции, является также диффузия, благодаря которой к поверхности раздела притекают новые порции реагирующих веществ. Искусственно ускоряя процесс диффузии встряхиванием или перемешиванием, можно значительно повысить скорость реакции.

4.2. Химическое равновесие

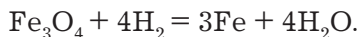
Многие химические реакции протекают таким образом, что взятые вещества целиком превращаются в продукты реакции

или, как говорят, реакция идет до конца. Так, например, бертолетова соль при нагревании вся без остатка превращается в хлористый калий и кислород:

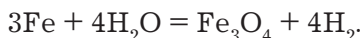


Обратное получение бертолетовой соли из хлористого калия и кислорода оказывается невозможным. Такого рода реакции называются практически необратимыми, или односторонними.

Иной характер имеет реакция взаимодействия водорода с железной окалиной. Если пропускать водород над сильно нагретой железной окалиной, то последняя превращается в железо, а водород соединяется с кислородом окислы, образуя воду:



С другой стороны, действуя при такой же температуре водяным паром на порошкообразное железо, можно получить железную окислы и водород. Эта реакция выражается тем же уравнением, что и предыдущая, если читать его справа налево:



Таким образом, при одной и той же температуре будут протекать две прямо противоположные реакции: из железной окислы и водорода будут получаться железо и водяной пар, а из последних — снова железная окислы и водород.

Процессы, которые при одних и тех же условиях могут идти как в ту, так и в другую сторону, называются обратимыми, или двусторонними.

Чтобы показать, что химический процесс обратим, в уравнении реакции заменяют знак равенства двумя стрелками, направленными в противоположные стороны:



Реакцию, протекающую в направлении слева направо, принято называть прямой, противоположную реакцию — обратной.

Характерная особенность обратимых реакций заключается в том, что они не доходят до конца, если продукты реакции не

удаляются из сферы взаимодействия (например, при реакциях между газами в закрытом сосуде). Исходные вещества, если даже они были взяты в эквивалентных количествах, никогда не расходуются полностью на образование продуктов реакции. Реакция идет лишь до известного предела и затем как бы останавливается.

Такое состояние системы реагирующих веществ, когда концентрации их не изменяются, называется *химическим равновесием*. Химическое равновесие достигается тогда, когда скорость прямой реакции становится равной скорости обратной реакции. Нам представляется, что реакция остановилась и не идет дальше. Однако эта остановка только кажущаяся; обе реакции продолжают идти, но одна из них сводит на нет результаты другой.

Установившееся между данными веществами химическое равновесие может сохраняться при неизменных условиях как угодно долго. Но стоит только изменить концентрацию хотя бы одного из участвующих в реакции веществ, как равновесие тотчас же нарушается, и концентрации всех остальных веществ тоже начинают изменяться.

Процесс изменения концентраций, вызванный нарушением равновесия, называется смещением, или сдвигом, равновесия. Если при этом происходит увеличение концентраций веществ, стоящих в правой половине уравнения (и, конечно, одновременное уменьшение концентраций веществ, стоящих слева), то говорят, что равновесие смещается вправо или в направлении течения прямой реакции; при обратном изменении концентрации говорят о смещении равновесия влево.

Принцип Ле Шателье–Брауна

Рассмотрев, как влияет на состояние равновесия изменение концентраций реагирующих веществ, перейдем к рассмотрению влияния на равновесие изменений температуры и давления.

Повышение температуры ускоряет все химические реакции, но для разных реакций это ускорение различно. В большинстве случаев скорости прямой и обратной реакций изменяются не в одинаковое число раз, и одна из них начинает протекать быстрее.

Однако накопление продуктов получившей преобладание реакции, с одной стороны, и убыль участвующих в ней веществ — с другой, постепенно выравнивают скорости обоих процессов. Таким образом, снова наступает равновесие, но уже при иных, чем прежде, концентрациях каждого из веществ. Из этого следует, что каждой температуре соответствует и свое состояние равновесия, подобно тому, как, например, каждой температуре отвечает своя растворимость вещества.

Направление, в котором смещается равновесие при изменении температуры, определяется законом Вант-Гоффа, относящимся к любым равновесным системам:

Если температура системы, находящейся в равновесии, изменяется, то при повышении температуры равновесие смещается в сторону процесса, идущего с поглощением тепла, а при понижении — в обратную сторону.

По отношению к обратимым химическим процессам это значит, что повышение температуры вызывает сдвиг равновесия в сторону эндотермической реакции, понижение температуры смещает равновесие в обратную сторону.

Всякое обратимое разложение вещества в химии носит название диссоциации. Если этот процесс усиливают нагреванием, то его называют термической диссоциацией. При нагревании диссоциируют многие вещества. Во всех таких случаях повышение температуры в соответствии с законом Вант-Гоффа увеличивает степень диссоциации (т. е. относительное количество разложившегося вещества), смещая равновесие в сторону образования продуктов диссоциации.

Закон Вант-Гоффа представляет собой лишь частный случай более общего закона, определяющего влияние различных факторов на равновесную систему и известного под названием *принципа Ле Шателье–Брауна*. В применении к химическому равновесию этот принцип можно формулировать следующим образом:

Если изменить одно из условий, при которых система находится в состоянии химического равновесия, например температуру, давление или концентрацию, то равновесие смещается

в направлении той реакции, которая противодействует произведенному изменению.

Прилагая этот принцип к случаю изменения температуры, мы видим, что повышение температуры должно смещать равновесие в сторону реакции, понижающей температуру, и следовательно, идущей с поглощением тепла. Понижение температуры вызывает сдвиг равновесия в сторону реакции, идущей с выделением тепла.

Смещение равновесия при изменении давления путем сжатия смеси реагирующих веществ может иметь место, когда в реакции участвуют газообразные вещества. При этом, согласно принципу Ле Шателье–Брауна, равновесие должно смещаться в сторону той реакции, которая ослабляет произведенное изменение, т. е. уменьшает давление, если оно было увеличено, и увеличивает, если оно было уменьшено. Но в замкнутом пространстве при постоянной температуре изменение давления в результате реакции может произойти только в том случае, если реакция сопровождается изменением общего числа молекул газообразных веществ.

Таким образом, мы приходим к следующему выводу. При увеличении давления равновесие смещается в сторону образования меньшего числа молекул газа, при уменьшении давления — в сторону образования большего числа молекул.

Понятно, что если при реакции число молекул газообразных веществ не изменяется, то ни увеличение, ни уменьшение давления не нарушают равновесия.

Наконец, нетрудно убедиться, что смещение равновесия при изменении концентраций реагирующих веществ также подчиняется принципу Ле Шателье–Брауна. Действительно, когда мы увеличиваем концентрацию одного из участвующих в равновесии веществ, то равновесие всегда смещается в сторону реакции, понижающей концентрацию того же вещества. Например, при реакции между водой и углекислым газом смещает равновесие в сторону образования окиси углерода и паров воды, причем концентрация углекислого газа снова понижается. Наоборот,

уменьшение концентрации одного из веществ вызывает сдвиг равновесия в сторону образования этого вещества.

Введение катализатора в равновесную систему не изменяет состояния равновесия, так как катализатор в одинаковой степени ускоряет и прямую, и обратную реакцию. Однако роль катализаторов при обратимых реакциях очень велика. При низких температурах ввиду малой скорости реакции равновесие между взаимодействующими веществами устанавливается обычно очень медленно. Чтобы дожидаться образования значительного количества продуктов реакции, требуется много времени. Можно, конечно, ускорить наступление равновесия путем повышения температуры, но если интересующий нас продукт образуется с выделением тепла, то его получится при этом очень мало, так как при высокой температуре равновесие окажется сильно сдвинутым в обратную сторону. Применение же катализаторов дает возможность ускорить наступление равновесия, не повышая температуру, и таким образом получить то же количество вещества, но в более короткий срок.

Глава 5. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ

5.1. Внутреннее строение и история геологического строения Земли

Земля, как и другие планеты, возникла из солнечного вещества. Документальными свидетелями допланетной стадии развития вещества и ранних этапов существования Земли служат соотношения изотопов и радиоактивность химических элементов, из которых состоят Земля и метеориты. На основании данных астрофизики и космохимии можно предполагать, что задолго до формирования планет Солнечной системы их вещество прошло звездную стадию, включавшую синтез ядер атомов в недрах звезд, одна из которых была предком Солнечной системы. В результате взрыва этой звезды образовалась протопланетная туманность.

Исходным материалом для образования планет был так называемый звездный газ — разобщенные ионизированные атомы. По мере охлаждения в соответствии с температурными условиями из него возникали твердые частицы и происходила их консолидация. Древнейшими твердыми телами Солнечной системы являются метеориты.

Земля как небесное тело образовалась при температурах ниже точки плавления составляющих ее материалов. Затем начался ее нагрев под действием радиоактивных элементов. Помимо этого Земля нагревалась за счет кинетической энергии соударения метеоритных потоков. В результате произошла дифференциация химических веществ планеты на оболочки разного строения и состава.

Главнейшими методами изучения внутренних частей нашей планеты являются геофизические, в первую очередь наблюдения за скоростью распространения сейсмических волн, образующихся от взрывов или землетрясений. Среди них выделяют волны продольных и поперечных колебаний. Продольные колебания представляют собой чередования сжатия и растяжения вещества в направлении распространения волны. Поперечные колебания представляют собой чередующиеся сдвиги в направлении, перпендикулярном распространению волны.

Продольные волны распространяются как в твердом, так и в жидком веществе, поперечные — только в твердом. Следовательно, если при прохождении сейсмических волн через какое-либо тело будет обнаружено, что оно не пропускает поперечные волны, то можно считать, что это вещество находится в жидком состоянии. Если через тело проходят оба типа сейсмических волн, то это — свидетельство твердого состояния вещества.

Скорость волн увеличивается с возрастанием плотности вещества. При резком изменении плотности вещества скорость волн будет скачкообразно меняться. В результате изучения распространения сейсмических волн через Землю обнаружено, что имеется несколько определенных границ скачкообразного изменения их скоростей. Поэтому считается, что Земля состоит из нескольких концентрических оболочек (геосфер).

На основании установленных трех главных границ раздела выделяют три главные геосферы: земную кору, мантию и ядро (рис. 10).

Первая граница раздела характеризуется скачкообразным увеличением скоростей продольных сейсмических волн от 5,9 до 8,2 км/с. Эта граница получила название раздела Мохоровичича (в честь открывшего ее ученого Андрея Мохоровичича, 1857–1936 гг.), или просто границы М. Она отделяет земную кору от мантии. Плотность вещества земной коры не превышает 3,0 г/см³. Граница М расположена под континентами на глубине от 40 до 80 км, а под дном океанов — от 4 до 10 км.

Так как радиус земного шара равен 6371 км, земная кора представляет собой тонкую пленку на поверхности планеты,

составляющую менее 1% ее общей массы и примерно 1,5% объема.

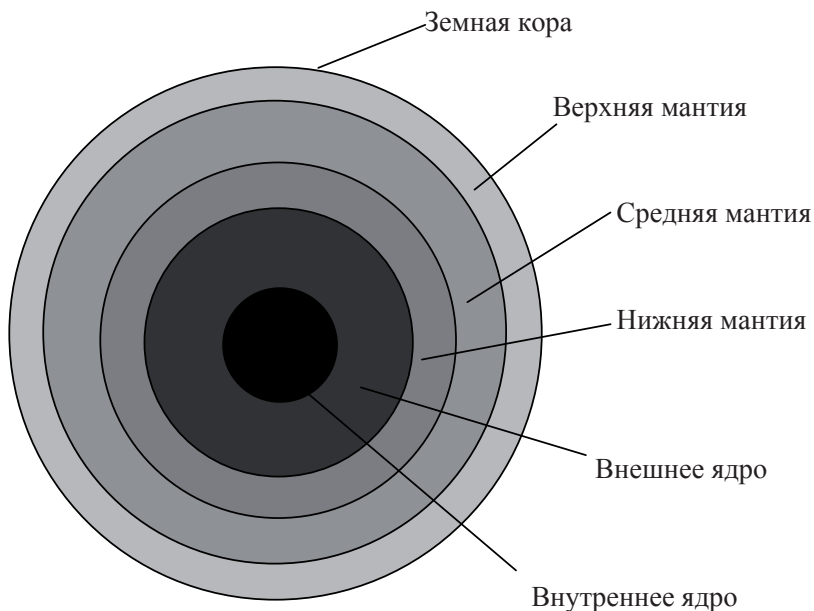


Рис. 10. Строение Земли

Мантия — самая мощная из геосфер. Она расположена на глубине 670–2900 км и составляет до 82% объема и 65% массы планеты. С глубиной плотность вещества мантии в целом возрастает с 3,3 до 9,7 г/см³, хотя это происходит неравномерно.

На границе с земной корой вещество мантии находится в твердом состоянии. Поэтому земную кору вместе с самой верхней частью мантии называют литосферой.

Агрегатное состояние вещества мантии ниже литосферы недостаточно изучено, и по этому поводу имеются различные мнения. Предполагается, что температура мантии на глубине 100 км составляет 1100–1500 °С, в глубоких частях — значительно выше. Давление на глубине 100 км оценивается в 30 тыс. атм, на глубине 1000 км — 1350 тыс. атм. Несмотря на высокую темпе-

ратуру, судя по распространению сейсмических волн, вещество мантии преимущественно твердое. Колоссальное давление и высокая температура делают невозможным обычное кристаллическое состояние. По-видимому, вещество мантии находится в особом высокоплотном состоянии, которое на поверхности Земли невозможно. Уменьшение давления или некоторое повышение температуры должны вызвать быстрый переход вещества в состояние расплава.

Мантию подразделяют на верхнюю (слой В — до глубины 400 км), среднюю (слой С — до глубины 1000 км) и нижнюю (слой Д — до глубины 2900 км). Границу между слоем В и переходной к нижней мантии зоной именуют также границей Голицына (в честь русского ученого Б. Б. Голицына (1862–1916 гг.), установившего ее).

В верхней мантии имеется зона, в которой скорость поперечных сейсмических волн значительно уменьшается. По-видимому, это связано с тем, что вещество в пределах зоны частично находится в жидком (расплавленном) состоянии. Зона пониженной скорости распространения поперечных сейсмических волн показывает, что жидкая фаза составляет до 10%, что отражает более пластичное состояние вещества по сравнению с выше и ниже расположенными слоями мантии. Относительно пластичный слой пониженных скоростей сейсмических волн получил название астеносферы (от греч. *asthenes* — слабый). Мощность ослабленной зоны достигает 200–300 км. В центральных частях океанов астеносфера располагается на глубине около 50 км, под устойчивыми участками материков опускается глубже — до 100 км.

Астеносфера имеет весьма важное значение для развития глобальных эндогенных геологических процессов. Малейшее нарушение термодинамического равновесия ведет к образованию огромных масс расплавленного вещества (астенолитов), которые поднимаются вверх, способствуя перемещению отдельных блоков литосферы по поверхности Земли. В астеносфере возникают магматические очаги. Исходя из тесной связи литосферы с астеносферой как частью верхней мантии, эти два слоя объединяют под названием “тектоносфера”.

В последнее время внимание ученых в мантии привлекает зона, расположенная на глубине 670 км. Полученные данные позволяют предполагать, что это нижняя граница конвективного теплообмена, который связывает верхнюю мантию с литосферой.

В пределах мантии скорость сейсмических волн в целом возрастает в радиальном направлении от 8,1 км/с на границе земной коры с мантией до 13,6 км/с в нижней мантии. Но на глубине около 2900 км скорость продольных сейсмических волн резко уменьшается до 8,1 км/с, а поперечные волны вообще не распространяются. Этим намечается граница между мантией и ядром Земли.

Ученым удалось установить, что на границе мантии и ядра в интервале глубин 2700–2900 км происходит зарождение гигантских тепловых струй, периодически пронизывающих всю мантию и проявляющихся на поверхности Земли в виде обширных вулканических полей.

Ядро Земли — центральная часть планеты. Оно занимает только около 16% ее объема, но содержит около трети всей массы Земли. Радиус ядра — 347 км. Судя по распространению сейсмических волн, периферия ядра находится в жидком состоянии. Здесь господствует чрезвычайно высокое давление (несколько миллионов атмосфер). В этих условиях происходит полное или частичное разрушение электронных оболочек атомов, вещество “металлизируется”, т. е. приобретает свойства, характерные для металлов, в том числе высокую электропроводность. Возможно, что земной магнетизм является результатом электрических токов, возникающих в ядре в связи с вращением Земли вокруг своей оси.

Плотность внешней части ядра — 12,5 г/см³. Вещество ядра неоднородно. На глубине около 5100 км скорость распространения сейсмических волн вновь возрастает с 8,1 до 13,6 км/с. Поэтому предполагают, что центральная часть ядра твердая и ее плотность — около 10² г/см³.

Определение вещественного состава разных оболочек Земли представляет весьма сложную проблему. Для непосредственного

изучения состава доступна лишь земная кора. Имеющиеся данные свидетельствуют, что земная кора состоит преимущественно из силикатов, а 99,5% ее массы составляют восемь химических элементов: кислород, кремний, алюминий, железо, магний, кальций, натрий и калий. Все остальные химические элементы в сумме образуют около 1,5%.

О составе более глубоких сфер земного шара можно судить лишь ориентировочно, используя геофизические данные и результаты изучения состава метеоритов. Поэтому модели вещественного состава глубинных сфер Земли, разработанные разными учеными, различаются. Можно с большой уверенностью предполагать, что верхняя мантия также состоит из силикатов, но содержащих меньше кремния и больше железа и магния по сравнению с земной корой, а нижняя мантия — из оксидов кремния и магния, кристаллохимическая структура которых значительно более плотная, чем у этих соединений, находящихся в земной коре.

Еще более гипотетичны представления о составе ядра Земли. Учитывая высокую плотность и невозможность распространения поперечных сейсмических волн, ученые предполагают, что периферия ядра состоит из оксидов или сульфидов железа с примесью кремния, углерода и некоторых других элементов. По причине еще большей плотности центральной части ядра можно ожидать, что она близка к составу железных метеоритов и состоит из никелистого железа.

Историю строения Земли принято изображать в виде последовательных стадий, или фаз.

Фаза 1 (5–4 млрд лет назад). Происходит образование Земли из газа, пыли, или планетезималей. В результате столкновения планетезималей и энергии, выделяющейся в процессе распада радиоактивных элементов, Земля постепенно разогревается. Падение на Землю гигантского метеорита приводит к выбросу материала, из которого образуется Луна.

Согласно другой концепции, Протолуна, находившаяся на одной из гелиоцентрических орбит, была захвачена Протоземлей, в результате чего образовалась двойная система Земля — Луна.

Дегазация Земли приводит к началу образования атмосферы, состоящей в основном из углекислоты, метана и аммиака. В конце рассматриваемой фазы за счет конденсации водяного пара начинается образование гидросферы.

Фаза 2 (4–3,5 млрд лет назад). Возникают первые острова, протоконтиненты, сложенные из горных пород, содержащих преимущественно кремний и алюминий. Протоконтиненты незначительно возвышаются над еще очень мелководными океанами.

Фаза 3 (3,5–2,7 млрд лет назад). Железо собирается в центре Земли и образует ее жидкое ядро, которое обуславливает возникновение магнитосферы. Создаются предпосылки для появления первых организмов, бактерий. Продолжается формирование континентальной коры.

Фаза 4 (2,7–2,3 млрд лет назад). Образуется единый суперконтинент Пангея, который омывает суперокеан Панталасс.

Фаза 5 (2,3–1,5 млрд лет назад). Охлаждение коры и литосферы приводит к распаду суперконтинента на блоки-микроплиты, пространство между которыми заполняют осадочные породы и вулканы. В результате возникают складчато-надводные системы и образуется новый суперконтинент — Пангея I. Органический мир представлен сине-зелеными водорослями, фотосинтезирующая деятельность которых способствует обогащению атмосферы кислородом, что ведет к дальнейшему развитию органического мира.

Фаза 6 (1700–650 млн лет назад). Происходит деструкция Пангеи I, образование бассейнов с корой океанского типа. Формируются два суперконтинента: Гондвана, куда вошли Южная Америка, Африка, Индия, Австралия и Антарктида и Лавразия, включающая Северную Америку и Евроазию. Гондвану и Лавразию разделяет море Тетис. Наступают первые ледниковые эпохи. Органический мир стремительно насыщается многоклеточными бесскелетными организмами. Появляются первые скелетные организмы (трилобиты, моллюски и др.). Происходит нефтеобразование.

Фаза 7 (650–280 млн лет назад). Горный пояс Аппалачей в Америке соединяет Гондвану с Лавразией — образуется Пангея

II. Обозначаются контуры палеозойских океанов — Палеоантлантического, Палеотетиса, Палеоазиатского. Гондвана дважды охватывается покровным оледенением. Появляются рыбы, позднее амфибии. Растения и животные выходят на сушу. Начинается широкое углеобразование.

Фаза 8 (280–130 млн лет назад). Пангея II пронизывается все более густой сетью континентальных рифтов, щелевидных ровообразных растяжений земной коры. Начинается раскалывание суперконтинента. Африка отделяется от Южной Америки и Индостана, а последний — от Австралии и Антарктиды. Наконец, Австралия отделяется от Антарктиды. Покрытосеменные растения осваивают значительные пространства суши. В животном мире господствуют пресмыкающиеся и земноводные, появляются птицы и примитивные млекопитающие. В конце периода погибают многие группы животных, в том числе динозавры. Причиной этих явлений обычно считают либо столкновение Земли с крупным астероидом, либо резкое усиление вулканической деятельности. То и другое могло привести к решающим изменениям (увеличению содержания углекислоты в атмосфере, возникновению крупных пожаров, похолоданию), не совместимым с существованием многих видов животных.

Фаза 9 (130 млн — 600 тыс. лет назад). Крупным изменениям подвергается общая конфигурация материков и океанов, в частности, Евразия отделяется от Северной Америки, Антарктида отделяется от Южной Америки. Распределение материков и океанов стало весьма близким к современному. В начале рассматриваемого периода климат на всей Земле теплый и влажный. Конец периода характеризуется резкими климатическими контрастами. Вслед за оледенением Антарктиды происходит оледенение Арктики. Складываются фауна и флора, близкие к современным. Появляются первые предки современного человека.

Фаза 10 (современность). Между литосферой и земным ядром поднимаются и опускаются потоки магмы, сквозь щели в коре они прорываются наверх. Обломки океанической коры опускаются вплоть до самого ядра, а затем всплывают и, возможно,

образуют новые острова. Литосферные плиты сталкиваются друг с другом и находятся под постоянным воздействием потоков магмы. Там, где плиты расходятся, образуются новые сегменты литосферы. Постоянно происходит процесс дифференциации земного вещества, который преобразует состояние всех геологических оболочек Земли, в том числе и ядра.

5.2. Современные концепции развития геосферных оболочек

Разработка концепции глобальной эволюции Земли позволила представить развитие геосферных оболочек. В объяснении динамических истоков развития геосферных оболочек решающее значение придается следующему: однородности химического состава первичной Земли; изменению ее термодинамических состояний под воздействием энергетических потоков; приобретению расплавленным веществом Земли текуче-подвижных состояний, приводящих к химико-плоскостной дифференциации этого вещества; образованию в результате дифференциации вещества Земли геосферных оболочек; эволюции геосферных оболочек в процессе непрекращающихся изменений динамических характеристик Земли.

Каждый новый шаг в осмыслении возникновения, эволюции и развития (коренных преобразований) геосферных оболочек требует четкого выделения тех динамических факторов, которые детерминируют геологические события. В этом состоит суть, главное содержание концепции глобальной эволюции Земли.

Следует отметить, что Земля стала тектонически активной далеко не сразу, а лишь после ее разогрева, который из-за наличия приливных сил (высота волн прилива достигала 1 км) оказался наибольшим в приповерхностных слоях планеты. Тепловая энергия поверхности планеты постепенно разогревала все ее вещество, переводя его в расплавленное состояние. Вещества Земли, обладавшие наибольшей плотностью, стали диффундировать в центр планеты.

В первичном веществе Земли содержалось много железа (около 13%) и его двухвалентной окиси (около 24%). Железо появилось отчасти за счет межзвездной материи, из которой образовалась Земля, и захвата ею метеоритов, в которых содержится около 30% железа.

Стекание железа и его окислов в центр планеты привело к образованию ядра Земли. Более легкие вещества (диоксид кремния SiO_2 , оксид магния MgO и др.) при этом переходили в верхние слои планеты, где они, остывая, образовывали астеносферу и литосферу. Собственно мантия Земли оказалась заключенной между ядром планеты и ее твердыми приповерхностными областями, т. е. литосферой. Дегазация планеты привела к образованию атмосферы Земли. За счет конденсации водяных паров атмосферы образовалась гидросфера.

Итак, было время (4,6–4,0 млрд лет назад), когда Земля не была дифференцирована на оболочки. Все геосферные оболочки являются результатом дифференциации вещественного состава первичной Земли. Атмосфера оказывает давление на литосферу и гидросферу, две последние упруго сжимают мантию планеты, которая в свою очередь спрессовывает ядро Земли.

Если же идти от центра планеты к ее периферии, то динамическая картина оказывается другой. Ядро Земли притягивает к себе вещество всех других геосферных оболочек, охватывает их обручем иницированного им магнитного поля, нагревает мантию и литосферу. Мантия Земли передает мощные потоки тепловой энергии литосфере, раздвигает океанское дно и перемещает литосферные плиты. Литосфера и гидросфера оказывают тепловое воздействие на атмосферу; выветриваясь и испаряясь, они передают ей также огромные массы вещества. Таким образом, геодинамическая активность также имеет свою историю: она находится в полном соответствии с историей эволюции геосферных оболочек.

Рассмотрим в свете концепции глобальной эволюции Земли историю основных геосферных оболочек.

Ядро Земли. Формирование ядра Земли началось примерно 4,6 млрд лет назад. Расчеты показывают, что особенно интенсивным оно было 3–2,6 млрд лет тому назад. Позже темпы

наращивания массы земного ядра начали резко, а потом плавно убывать. В наши дни масса ядра увеличивается, согласно расчетам, на 130 млрд т в год. “Металлическое железо” покинуло мантию Земли примерно 500 млн лет тому назад, оставшийся в ней магнетит (Fe_3O_4) распадается по схеме $2\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow 6\text{FeO} + \text{O}_2$, при этом магнетит переходит во внешнее ядро Земли. Остывание Земли привело к частичному или полному затвердеванию как ее мантии, так и ядра.

Мантия Земли по своему вещественному составу наиболее близка к составу первичного вещества Земли. Тем не менее именно в ней процессы химико-плотностной дифференциации идут наиболее энергично: на протяжении 4 млрд лет она проходит все новые стадии своего вещественного обеднения. Тяжелое вещество уходит к центру планеты — в ее ядро. Легкие элементы перемещаются в лито-, атмо- и гидросферу. Из мантии Земли полностью исчезли сернистое железо, железо Fe, никель Ni. По сравнению с составом первичной Земли она существенно обеднена легкими веществами (оксиды калия и натрия KO, NaO, азот N₂, водород H₂ и др.). Вместе с тем происходящая в мантии химико-плотностная дифференциация приводит к росту процентного содержания окислов кремния (SiO_2) и магния (MgO). В сумме эти два окисла образуют около 83% состава современной мантии (против 57% в составе первичного вещества Земли).

Современная мантия охвачена мощными конвективными движениями, за счет которых тепловая энергия ядра и мантии передается другим геосферным оболочкам.

Теплопотери Земли приведут к ее остыванию и переходу мантии в твердое, литосферное состояние.

Литосфера. Литосфера образовалась в процессе остывания и кристаллизации частично расплавленного вещества мантии Земли. Ее часто называют “силикатным льдом”. Имеется в виду, что литосфера, состоящая в основном из силикатов, т. е. солей кремниевых кислот, содержащих оксид кремния SiO_2 , формируется подобно образованию льда при замерзании воды. Ее формирование началось 4–3,5 млрд лет тому назад. Около 2 млрд лет ушло на формирование суперконтинента Пангеи. По-

следующая тектоническая деятельность Земли привела к раскалыванию Пангеи и образованию новых суперконтинентов.

Современная история литосферы связана прежде всего с тектоникой океанических плит. При раздвижении литосферы вещество астеносферы внедряется в разломы рифтовых зон и, охлаждаясь, образует молодую океаническую литосферу. Океаническая кора способна надвигаться на концы континентальных плит, в результате чего образуются складчатые структуры. Обломки океанических литосферных плит, увлекаясь мантийными потоками, опускаются вплоть до ядра Земли, перемешиваются с другим мантийным веществом и вновь поднимаются на поверхность. Так осуществляются циклы тектонической деятельности. В далеком будущем непременно произойдет их замедление вплоть до полной остановки.

Гидросфера. Молодая Земля была лишена гидросферы. Последняя появилась благодаря дегазации Земли, инициируемой изливавшимися на ее изначальную поверхность мантийными расплавами, которые, попав в условия с минимальным давлением, вскипали (как известно, температура кипения тем ниже, чем меньше давление) и выделяли летучие вещества, в том числе пары воды. Чем сильнее нарастали конвективные явления в мантии, тем чаще и в большей массе извергались на поверхность Земли потоки магмы, тем больше становился объем первоначально неглубокого океана. Из-за поглощения части воды океанической, а также континентальной корой глубина океана увеличивалась медленно. И лишь после полного насыщения водной слюи океанической коры около 2,2 млрд лет назад дно океана стало быстро опускаться (до средней глубины современного Мирового океана).

Наибольший приток воды происходил в период охвата конвективными движениями всей мантии Земли, т. е. около 2,6 млрд лет назад. Приток воды в Мировой океан имеет место и в наши дни, он будет продолжаться и в дальнейшем. Ослабление тектонической активности Земли, остывание ее мантии, образование в связи с этим особо глубоких океанических впадин и поглощение части воды глубокозалегающими осадочными

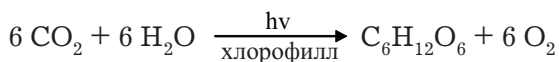
породами океанической литосферы приведет к тому, что будут вновь видны срединно-океанические хребты.

Атмосфера. Согласно концепции глобальной эволюции Земли история атмосферы связана с дегазацией планеты не меньше, чем история гидросферы. Полагают, однако, что уже на ранних этапах своей эволюции (4,7–4 млрд лет назад) Земля, еще не приобретя гидросферы, уже обладала атмосферой, но крайне разреженной. Она состояла главным образом из летучих соединений, которые распространены в космосе, т. е. водород H_2 , гелий He , азот N_2 , метан CH_4 , аммиак NH_3 , вода H_2O , углекислый газ CO_2 , угарный газ CO . Рождение плотной атмосферы оказалось связанным с выделением тех летучих соединений, которые попали на Землю в связанном состоянии. Подлинным динамическим источником атмосферы Земли оказалась ее начавшаяся активная дегазация (4 млрд лет назад). Около 3 млрд лет назад Земля была окутана плотной, состоящей в основном из азота (N) и углекислого газа (CO_2), атмосферой с давлением до 4 атм. Последующая история Земли связана в основном со своеобразной “заменой” углекислого газа на кислород.

Насыщение слоя океанической коры водой сопровождалось связыванием углекислого газа в карбонатах (доломитах). Можно показать, что при избытке углекислого газа в атмосфере реакции гидратации сопровождаются его связыванием в карбонатах.

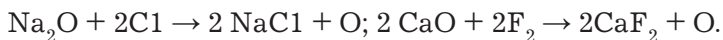
Это привело к “извлечению” углекислого газа из атмосферы, его парциальное давление снизилось почти до современного. Обеднение атмосферы углекислым газом, который задерживает инфракрасное (тепловое) излучение Земли, привело к резкому снижению приземной температуры (с 90 до 6 °С). Сопровождалось это (2,4 млрд лет назад) грандиозным оледенением.

Активную роль в извлечении углекислого газа из атмосферы сыграли также зеленые растения и фотосинтезирующие микроорганизмы. Речь идет о процессе фотосинтеза, суммарное выражение которого, как известно, выглядит следующим образом:

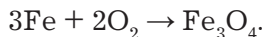


(фотосинтез проходит с участием хлорофилла).

Насыщение атмосферы кислородом происходило также благодаря фотолизу паров воды под воздействием коротковолнового излучения Солнца и галогенизации (галогенами являются хлор и фтор) окислов щелочных и щелочноземельных металлов:

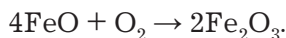


Далеко не весь кислород переходил непосредственно в атмосферу. Его мощным поглотителем являлось свободное железо:

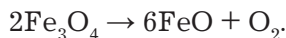


Свободное железо исчезло из мантии Земли около 600 млн лет назад. Это способствовало росту выхода кислорода в атмосферу, что благоприятствовало быстрому развитию многоклеточных организмов.

В современных условиях выделяющийся в мантии кислород частично поглощается:



Расчеты показывают, что через 600 млн лет содержащееся в мантии железо окажется в состоянии магнетита (Fe_3O_4). Магнетит устойчив в мантии, но при переходе в ядро Земли он распадается:



Свободный кислород, не встречая препятствий, стремится в атмосферу. Это, согласно расчетам, приводит к быстрому росту давления атмосферы (10 атм), приземная температура достигнет 250 °С. После вскипания воды океанов давление возрастет до 350 атм, а приземная температура достигнет 450 °С. В новых условиях жизнь окажется невозможной.

Подводя итог, отметим, что с позиции концепции глобальной эволюции Земли развитие геосферных оболочек связано главным образом с динамическими факторами. Среди них наиглавнейшим является энергия, выделяемая при химико-плотностной

дифференциации вещества в мантии и ядре Земли. Энергетика Земли определяется в первую очередь тем, что происходит внутри нее. Механизм химико-плотностной дифференциации вещества определяет как само наличие геологических явлений, так и их специфику.

5.3. Литосфера как биотическая основа жизни

Литосфера — внешняя твердая оболочка Земли, которая включает всю земную кору и часть верхней мантии Земли. Нижняя граница литосферы нечеткая и определяется резким уменьшением вязкости пород, изменением скорости распространения сейсмических волн и увеличением электропроводности пород.

В верхней части континентальной земной коры развиты грунты, значение которых для человека трудно переоценить. Грунты возникли вместе с живым веществом и развивались под влиянием деятельности растений, животных и микроорганизмов, пока не стали очень ценным для человека плодородным субстратом. Основная масса организмов и микроорганизмов литосферы сосредоточена в грунтах на глубине не больше нескольких метров.

Современные грунты являются трехфазной системой (разнозернистые твердые частицы, вода и газы, растворенные в воде), которая состоит из смеси минеральных частиц (продукты разрушения горных пород) и органических веществ (продукты жизнедеятельности микроорганизмов и грибов). Грунты играют огромную роль в кругообороте воды, веществ и углекислого газа.

Гидросфера и атмосфера заметно отличаются от других оболочек, образующих твердое тело планеты. Значение этих оболочек огромно, гидросфера и атмосфера возникли на ранней стадии формирования планеты, существуя более 3,8 млрд лет. Они находятся во взаимодействии друг с другом и с другими оболочками Земли, особенно с литосферой.

Каждая из геосферных оболочек обладает абиотической значимостью. При абиотическом подходе компоненты и явления

неживой природы рассматривают как условие существования живых организмов, в том числе человека. Несмотря на то, что все геосферные оболочки важны в абиотическом плане, до недавнего времени абиотический подход использовался в основном при изучении гидросферы и атмосферы. Что касается абиотических факторов мантии и ядра Земли, то их изучение также весьма важно.

Обычно выделяют следующие функции литосферы: ресурсную, геодинамическую, физическую и химическую.

Ресурсная функция литосферы определяет роль ресурсов, содержащихся в литосфере, а также факторов пространственного характера для жизни биоты и человека. Литосфера содержит различные материальные ресурсы, большинство из которых активно используются человеком. Именно в связи с этим наблюдается значительная ресурсная напряженность, которая не убывает, а нарастает год от года.

Человечество стоит перед необходимостью системного георесурсного концептуального мышления. Весьма актуальные призывы и практические акции по ресурсосбережению необходимы, но недостаточны. Человечество пока намного более успешно разрушает, чем восстанавливает литосферу. С большим трудом осознается, что объектом заботы является такой грандиозный объект как литосфера.

Геодинамическая функция литосферы связана с масштабными природными и антропогенными процессами, влияющими на жизнь биоты и человека. Речь идет об аномалиях и напряженных состояниях горных массивов, участках повышенной трещиноватости и проницаемости, регионах, опасных в сейсмическом отношении или охваченных деятельностью вулканов.

Геохимическая функция литосферы касается в основном тех геохимических неоднородностей, которые представляют опасность для биоты, в том числе человека. Речь идет прежде всего о химическом загрязнении, привнесении в литосферу различных токсинов (тяжелых металлов, пестицидов, пластмасс). Многие химические вещества обладают канцерогенными и мутагенными свойствами.

Геофизическая функция литосферы проявляется посредством физических факторов, радиации, шумовых и тепловых эффектов. На поверхности Земли постоянно наблюдается естественный радиационный фон, который с медицинской точки зрения, как правило, не является вредным. Однако есть такие регионы, например в Индии и Бразилии, где этот фон превышает нормальный в 100 и даже 1000 раз.

5.4. Экологические функции литосферы

В литосфере происходит множество процессов (сдвиги, сели, обвалы, эрозия и др.), имеющих целый ряд далеких экологических последствий в определенных регионах планеты, а иногда приводящих к глобальным экологическим катастрофам, цунами, землетрясениям и т. д. Перечислим некоторые из них.

Процесс выветривания. Разрушение и преобразование горных пород в результате выветривания происходит под влиянием различных природных факторов — климата, ландшафтов, рельефа, водной среды и атмосферы. Под действием разного их сочетания возникает физическое, химическое и биохимическое выветривание.

Физическое выветривание происходит в результате суточных температурных контрастов, роста кристаллов солей, расклинивающего влияния воды, замерзающей в трещинах и порах, корневой системе деревьев. Химическое выветривание происходит под совместным воздействием температуры и агрессивной воды, в которой находятся в растворенном состоянии различные элементы и химические соединения. Биохимическое выветривание осуществляется в результате воздействия органических кислот, выделяемых различными организмами, и преобразования отмерших их остатков.

Стадийность корообразовательных процессов (окисление, гидратация, растворение и гидролиз) приводит к формированию определенной зональности профилей выветривания. Кора выветривания — горные породы, возникающие на поверхности Земли в результате разложения (выветривания) коренных

пород, накопления осадочных продуктов и выноса щелочей и кремнезёмов. Кора выветривания играет важную экологическую роль, и с ней связаны месторождения алюминия, никеля, кобальта, меди, железа и различные по степени канцерогенности и составу геохимические аномалии.

Оползни и сели. Под действием гравитации происходит перемещение по поверхности Земли обломков горных пород. Скорость их перемещения зависит от размеров обломков и покатости склона.

Часто гравитационные процессы называют склоновыми. Возникшие в результате действия этих процессов отложения называются коллювием. Гравитационные процессы подразделяются на провальные, обвальные и медленные.

В результате действия водно-гравитационных процессов возникают оползни и сели.

Гравитационные процессы на континентальных склонах приводят к возникновению огромных по размерам подводных оползней.

Геологическая деятельность ветра называется также эоловой (по имени бога ветров Эола). Геологическая деятельность ветра складывается из дефляции (разрушения рыхлых горных пород и почв), переноса рыхлого материала и аккумуляции (накопления на земной поверхности рыхлых минеральных и органических остатков). Особенно ярко эоловая деятельность проявляется в пустынных областях, оголенных, лишенных растительного покрова, широких и плоских речных долинах и на побережьях крупных озер, морей и океанов. Ветер не только разрушает, переносит и отлагает тонкий песчаный материал, но и создает эоловый песчаный рельеф — барханы, продольные гряды, дюны и эоловую рябь. С деятельностью ветра связано образование лёсса. В основном эоловая деятельность наносит ущерб хозяйственной деятельности человека.

Поверхностные водостоки. Деятельность поверхностных вод начинается с эрозии, плоскостного смыва, накопления делювия, образования оврагов и временных горных потоков, в устье которых формируются конусы выноса, сложенные про-

лювиальным и делювиальным материалом. Реки производят большую эрозионную, переносную и аккумулятивную работу и в этом смысле имеют важнейшую экологическую роль. В речных долинах имеются поймы и надпойменные террасы. Последние могут быть эрозионными и аккумулятивными. В низовьях рек в зависимости от ряда причин формируются дельты или устья.

Подземные воды по своему происхождению подразделяются на следующие типы: инфильтрационные, конденсационные, седиментогенные, магматогенные, или ювенильные, иметаморфогенные. Выделяют почвенные воды и верховодку. В зоне полного насыщения распространены грунтовые воды, межпластовые ненапорные воды и межпластовые напорные, или артезианские, воды. Перемещение подземных вод зависит от водопроницаемости пород, их трещиноватости. С подземными водами связаны карстовые процессы. Их деятельность выражается в создании поверхностного и подземного рельефа, а также своеобразных аккумулятивных отложений и форм. К числу поверхностных форм карстового рельефа относятся карры, поноры, карстовые воронки, котловины, поля, а к подземным — пещеры, полости, ходы и естественные колодцы. В пещерах формируются сталактиты и сталагмиты.

Озера, водохранилища и болота. Озера и болота располагаются в понижениях рельефа и заполняются проточной или застойной водой. Озерные котловины создаются различными эндогенными и экзогенными геологическими процессами. В то время как в озерах экзогенные процессы складываются из абразионной, транспортирующей и аккумулятивной деятельности, в болотах протекают только аккумулятивные процессы. В озерах и болотах формируются в основном тонкие обломочные и органогенные осадки. Среди болот различают озерные, лесные, луговые, верховые, низинные и приморские. Созданные человеком водохранилища по характеру геологических процессов относятся к озерам.

Многолетне-мерзлые породы и грунты занимают около 60 % территории России, они также широко распространены в Канаде и на Аляске. Мощность криолитозоны достигает

900 м. Имеются районы, где глубина многолетнего промерзания составляет 1500 м. В криолитозоне большое значение имеют различные типы льдов: погребенный, повторно-жильный, инъекционный, конституционный и миграционный. Среди подземных вод в криолитозоне выделяют надмерзлотные, межмерзлотные, внутримерзлотные и подмерзлотные. Мерзлотно-геологические процессы и возникающие в результате их деятельности формы рельефа весьма различны. На склонах происходят процессы солифлюкции — медленное передвижение почв и рыхлых грунтов под влиянием попеременного протаивания — промерзания и силы тяжести. Это приводит к возникновению валов, гряд, солифлюкционных террас. Из-за деградации криолитозоны появляется термокарст.

Материковые и горные ледники. Площадь современных материковых, покровных (Гренландия и Антарктида) и горных ледников превышает 160 млн км². Предгорные ледники представляют собой слившиеся горные ледники, выходящие в предгорья. Движение ледников связано с пластичным или высокопластичным течением льда. При движении ледников происходят перенос обломочного материала и его аккумуляция. К ледниковым отложениям относятся морены, среди которых различают донные, абляционные, конечные.

Осадки морей и океанов. В морях и океанах накапливаются различные типы осадков. Среди них выделяют терригенные (обломочные), хемогенные, органогенные и вулканогенные. Распространение генетических типов осадков зависит от климатической и вертикальной зональности. Рыхлые осадки с течением времени преобразуются в горные породы.

Извержения вулканов. Магматические горные породы возникают из алюмосиликатного расплава — магмы. Разнообразие магматических пород определяется дифференциацией магмы и ее взаимодействием с вмещающими образованиями. Флюидное давление играет большую роль в кристаллизации магмы. Типы вулканических построек и разнообразие извержений зависят от состава магмы, формы подводящего канала и концентрации летучих веществ. Распространение вулканов связано с активными границами литосферных плит.

Загрязнение окружающей среды начинается с момента разведки месторождений полезных ископаемых и заканчивается, когда минеральное сырье используется человеком.

Добыча каменного угля, так же, как и любого другого полезного ископаемого, открытым, карьерным способом рано или поздно превращает живописный ландшафт в бесплодную территорию с зияющими ямами и впадинами, горами отвалов пустой породы. В процессе добычи и обогащения выбрасывается масса отходов. Некоторые из них смываются дождевыми водами в реки и озера, что серьезно отражается на их органической жизни и водном режиме, а часть развеивается ветром. Особенно труднопреодолимой задачей является удаление загрязненных вод горных выработок.

Ряд крупных проблем связан с загрязнением нефтью, особенно во время бурения скважин в шельфовой части морей и океанов, например в Северном море и Мексиканском заливе. Открытие нефтяных месторождений на шельфе Северного Ледовитого океана, особенно у берегов Аляски, привело к большой экологической угрозе в связи с необходимостью транспортировки нефти и многократными перекачками. Такие перевозки, как в северных, так и в тропических морях, связаны с опасностью для окружающей среды.

Прокладка нефте- и газопроводов на далекие расстояния, особенно через тундровые и лесотундровые ландшафты, также связана с проблемами загрязнения окружающей среды, особенно при авариях на трубопроводах. В настоящее время лицензии на разработку и добычу многих полезных ископаемых часто предусматривают обязательное последующее восстановление почвенного слоя и растительности.

5.5. Ресурсная, геодинамическая, геофизико-геохимическая, географическая оболочки

Выше рассматривались некоторые функции литосферы: ресурсная, геодинамическая, химическая, физическая и эко-

логическая. Дополним рассмотрение роли различных оболочек Земли в плане их влияния на экологическое состояние.

В *ресурсной оболочке* наиболее неблагоприятная обстановка складывается с энергетическими ресурсами. Перспективность таких широко используемых энергетических ресурсов, как природный газ, нефть, уголь, быстро убывает. Согласно оценкам, запасы газа и нефти перспективны не более чем на 50 лет, угля — приблизительно на 150 лет. До настоящего времени нет четких представлений о тех энергетических ресурсах, которые человечество намерено использовать, допустим, через 50 лет. Атомная энергетика опасна, трудноразрешимой представляется проблема реактивации отходов ядерной промышленности: во всей литосфере пока не обнаружено такого места, где можно было бы спрятать радиоактивные вещества в безопасном для биоты состоянии. Не разработаны пути использования в удовлетворяющем человечество количестве солнечной и ветряной энергии (для размещения солнечных батарей и ветряных электростанций требуется много места, а коэффициент полезного действия их все еще недостаточно высок).

Крайнюю озабоченность вызывает ситуация с запасами полиметаллических руд, содержащих никель, кобальт, вольфрам, молибден, медь, свинец, цинк, олово. Считается, что они будут практически исчерпаны в ближайшее столетие. Лишь несколько лучше обстоят дела с железными, марганцевыми и хромовыми рудами.

Человечество стало мощной литосферной силой и рельефообразующим фактором. К увеличению сейсмичности приводят интенсивная добыча газа и нефти, закачка воды глубоко под землю, рытье карьеров и котлованов, заполнение водой котловин; оседают плотины электростанций, крупные города типа Токио и Осаки.

Человечеству становится тесно на поверхности планеты, а потому оно обращается к подземному геологическому пространству. В связи с этим требуется очень точная геоэкологическая оценка.

В геодинамической оболочке важнейшей проблемой остается сейсмическая и вулканическая деятельность. Большое значение приобретают в связи с этим прогноз развития катастрофических геологических процессов, эколого-геологическое обоснование возможной инженерной защиты территорий и осуществление этой защиты. Разумеется, с различного рода нежелательными последствиями связана такая техногенная деятельность человека, которая увеличивает риск возникновения геодинамических потрясений.

Геофизико-геохимическая оболочка. Главными геофизическими факторами являются радиоактивные излучения, тепловые и шумовые эффекты. Земной радиационный фон имеется даже в любом помещении. Источник его — радон и продукты его радиоактивного распада. Основной канал проникновения радона — почва и строительные материалы.

Техническая деятельность человека, связанная с выносом естественных радионуклидов во внешнюю среду, приводит к включению их в геобиогенные циклы. А это означает, что основная часть радиационного фона имеет антропоное происхождение.

Одна из форм загрязнения литосферы — шум, распространяющийся в приповерхностных слоях земной коры. Промышленные предприятия и средства транспорта производят шумы, которые накладываются на естественно-природный шумовой фон. В итоге живые организмы, особенно те, места обитания которых находятся в земле, и человек испытывают постоянное звуковое раздражение.

Заслуживает упоминания также тепловой режим литосферы, который зависит от последствий техногенной деятельности человека, например, прокладки теплотрасс на глубине всего нескольких метров, а иногда и по земной поверхности. В результате этого существенно изменяется тепловой режим обитания биоты.

Геохимические проблемы касаются главным образом химического загрязнения тяжелыми металлами, пестицидами и т. д. Опасные для жизни человека химические вещества в земной

коре находятся в связанном состоянии. Будучи извлеченными из недр Земли, они возвращаются сначала на поверхность планеты, а затем и в глубь нее уже в виде, представляющем большую опасность для человека.

Таковы, например, тяжелые металлы — свинец, цинк, ртуть, никель, кадмий и др. Основными же источниками тяжелых металлов являются промышленные предприятия и атомные и тепловые электростанции. Сначала тяжелые металлы попадают в атмосферу, затем с осадками выпадают на поверхность Земли. Согласно расчетам, вклад в химическое загрязнение планеты антропогенного свинца составляет от 94 до 97%, кадмия — от 84 до 89, никеля — от 66 до 75% и т. д.

Значительный вклад в химическое загрязнение литосферы, особенно земной коры, вносят различного рода отходы, в том числе радиоактивные, в твердом и жидком состоянии.

Географическая оболочка имеет сложное строение, она состоит из большой совокупности природных комплексов.

Наиболее крупные подразделения географической оболочки — географические пояса, опоясывающие земной шар в широтном направлении. Каждый географический пояс имеет особый набор широтных, долготных и высотных зон. Географическая оболочка подразделяется на следующие географические пояса: один экваториальный и по два (северный и южный) субэкваториальных, тропических, субтропических, умеренных, а также субарктический и субантарктический, арктический и антарктический.

Внутри поясов по соотношению тепла и влаги и преобладающей растительности выделяются природные зоны — тундра, лесотундра, лесная зона, лесостепь, степь, полупустыни, пустыни и др.

Зональность характерна также и для Мирового океана — от экватора к полюсам меняются свойства вод (температура, соленость, плотность), состав растительного и животного мира.

Высотная поясность характерна для гор. С высотой изменяется климат — как правило, температура понижается, а осадки увеличиваются.

Термин “географическая оболочка” близок к понятию биосферы, которая представляет собой не только само живое вещество, но и вещество, в котором сосредоточена жизнь. Верхняя граница биосферы находится на уровне озонового слоя, а нижняя — в твердой земной коре.

Географическая оболочка подразделяется на структуры. Главнейшие структуры — это материки и океаны, которые отличаются друг от друга резче, чем другие структуры. Более дробными географическими структурами являются географические ландшафты и их части.

Географический ландшафт — это относительно однородный участок, отличающийся закономерным сочетанием рельефа, климата, растительности и др. Для каждого ландшафта, независимо от его пространственных размеров, всегда характерна вполне определенная однотипность природоустройства, которая как раз и представляет собой системно-интегративный признак ландшафта. В качестве ландшафта могут рассматриваться как элементарный, наименьший природный комплекс, так и географический пояс, т. е. крупнейшее зональное подразделение географической оболочки.

Ландшафтоведческий подход предполагает выделение земной основы географического комплекса как главного компонента. Однако объектом рассмотрения географических наук является не только суша, но и океаны, и атмосфера.

Понятие “гидросфера” равнозначно понятию “все свободные воды Земли”. Вода присутствует на Земле в трех фазовых состояниях. Два типа воды — пресная и соленая — образуют материковую и океаническую часть гидросферы. Соленая вода составляет до 98% всей содержащейся на Земле. Полярные ледники составляют 85% всей пресной воды. Весь стационарный запас в руслах рек всего мира равен 1200 км³ (0,0001% общего объема воды, или 0,004% пресной).

Кроме наземной гидросферы существует еще и подземная гидросфера (2% общего объема воды). Накопление глубинных подземных вод происходило в течение многих миллионов лет. Они обычно сильноминерализованы.

Атмосфера представляет собой смесь газов, жидкости (вода), твердых веществ (пыль, снег, град). Нижняя атмосфера представляет собой смесь газов в следующей пропорции: азот — 78,1%; кислород — 21%; аргон — 0,9%; углекислый газ — около 0,04%. Содержание углекислого газа постепенно увеличивается. Это связано с тем, что человечество сжигает огромное количество горючего, существенно утепляя климат Земли.

Плотность атмосферы с высотой уменьшается (на вершинах гор — до 30%).

Огромное значение для температурного режима географической оболочки и для жизни в ней имеет увеличение (до 10 раз) концентрации озона (O_3) на высоте 10–50 км (озоновый слой). Озон нагревается сам, нагревает атмосферу и почти не пропускает ультрафиолетовое излучение Солнца и тем самым предохраняет живые организмы от гибели.

С высотой температура понижается на 0,6 °С на каждые 100 м до – 80 °С на высоте 10 км на полюсах и на высоте до 18 км на экваторе. В озоновом слое температура снова вырастает и достигает + 30 °С. Затем в мезосфере температура понижается до – 90 °С и в термосфере растет до – 50 °С. Средние годовые температуры земной поверхности в Северном полушарии следующие: на экваторе 27 °С, на широте 30° – 21 °С, на широте 60° – 1 °С, на Северном полюсе – 23 °С.

Атмосфера и гидросфера тесно связаны обменом вещества и энергии. Атмосфера Земли представляет собой взаимосвязанную систему. Изучение верхних слоев атмосферы началось только во второй трети XX в. Это позволило полнее представить общую циркуляцию атмосферы, на которую влияют лучистая энергия Солнца, вращение Земли вокруг оси и др.

Все науки о Земле имеют системный, комплексный характер. В полной мере это относится и к географии. География имеет дело с взаимодействием нескольких геосферных оболочек: атмосферы (вплоть до озонового слоя), гидросферы, биосферы, литосферы (до границы Мохоровичича). Географическая оболочка Земли — это результат взаимодействия нескольких геосферных оболочек.

География имеет дело с ликом Земли, той ее областью, которая играет определяющую роль в жизни человека. В географии всегда объединяются по крайней мере два подхода: естественно-научный и социально-экологический. Когда эти два подхода изолируют друг от друга, то противопоставляют физическую географию и экологическую географию. Однако такая изоляция уместна лишь отчасти. В конечном счете выясняется, что специфика географии ограничено связана как с естественно-научным, так и с социально-экологическим подходом.

Особенно широко используются в современной географии методы физических, химических, геологических, биологических и экологических наук.

Глава 6. БИОЛОГИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ

6.1. Особенности биологического уровня организации материи

Биология — наука о жизни. Название ее возникло из сочетания двух греческих слов: *bíos* — “жизнь”, *lógos* — “слово, учение”. Эта дисциплина изучает живые организмы — бактерии, грибы, животных и растения.

Живое вещество представлено необычайным разнообразием форм, множеством видов живых существ. В настоящее время уже известно около 500 тыс. видов растений и более 1,5 млн видов животных, населяющих нашу планету. Ученые постоянно описывают новые виды, как существующие в современных условиях, так и вымершие в минувшие геологические эпохи.

Выявление и объяснение общих свойств и многообразия живых организмов, а также взаимосвязи различных групп живых организмов между собой и взаимодействия их с окружающей средой составляют задачу общей биологии.

По изучаемым объектам биологию подразделяют на отдельные науки. Так, выделяют микробиологию, ботанику, зоологию. Эти частные науки исследуют особенности строения и жизнедеятельности отдельных видов. Главные ветви этих наук — морфология, изучающая структуру объектов живой природы, и физиология, исследующая функции живых организмов. На рубеже XIX и XX вв. возникла генетика — наука о таких важнейших свойствах живой материи, как наследственность и изменчивость.

Среди основных направлений биологии усиленно развивается физико-химическая биология, т. е. область изучения живой материи, использующая методы и подходы химии, физики и математики. Значительны достижения в области биохимии, молекулярной биологии, биофизики.

По уровню изучения живой материи различают молекулярную биологию, учение о клетке, или цитологию, учение о тканях, или гистологию, науку о строении организма — анатомию, или органологию; биологию организмов; биологию групп организмов — популяций, видов и т. д.

Достижения биологии в последнее время привели к возникновению принципиально новых направлений в науке, ставших самостоятельными разделами в комплексе биологических дисциплин. Так, раскрытие молекулярного строения структурных единиц наследственности — генов — послужило основой для создания генной инженерии — комплекса приемов, с помощью которых создают организмы с новыми, в том числе и с не встречающимися в природе, комбинациями наследственных признаков и свойств.

Мир живых существ, включая человека, представлен биологическими системами различной структурной организации и разного уровня соподчинения, или согласования. Например, известно, что все живые организмы состоят из клеток. Клетка может представлять собой целый организм или быть частью многоклеточного растения или животного. Она бывает довольно просто устроенной, как клетки бактерий и сине-зеленых водорослей, или значительно более сложной, как клетки зеленых растений, грибов, животных.

Бактерии, как и простейшие, представляют собой целые одноклеточные организмы, способные выполнять все необходимые для обеспечения жизнедеятельности функции. А клетки, входящие в состав многоклеточного организма, специализированы, т. е. могут осуществлять одну какую-либо функцию и неспособны самостоятельно существовать вне организма. У многоклеточного организма взаимосвязь многих клеток при-

водит к созданию нового качества, не равнозначного простой их сумме. Элементы организма — клетки, ткани и органы — в сумме еще не представляют собой целостный организм. Лишь соединение их в исторически сложившемся в процессе эволюции порядке, их взаимодействие образуют целостный организм, способный существовать в окружающей среде в динамическом равновесии с ней.

В настоящее время выделяют несколько уровней организации живой материи.

1. *Молекулярный.* Любая живая система, какой бы сложной она ни была, построена из большого количества единиц — мономеров. С этого уровня начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма: обмен веществ и превращение энергии, передача наследственной информации др.

Существуют три типа биологических полимеров: полисахариды, белки и нуклеиновые кислоты. Их мономерами служат соответственно моносахариды, аминокислоты и нуклеотиды. Не менее важными для организма органическими соединениями являются также липиды.

2. *Клеточный.* Клетка является структурной и функциональной единицей живых организмов, она представляет собой саморегулирующуюся, самовоспроизводящуюся живую систему. Свободноживущих неклеточных форм жизни на Земле не существует.

3. *Тканевый.* Ткань представляет собой совокупность сходных по строению клеток и межклеточного вещества, объединенных выполнением общей функции. Например, ткани человека включают эпителий, мышечную, нервную и соединительную ткань.

4. *Органный.* Органы — это структурно-функциональные объединения нескольких типов тканей.

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

6. *Популяционно-видовой.* Совокупность организмов одного и того же вида, объединенная общим местом обитания, создает

популяцию как систему надорганизменного порядка. В этой системе осуществляются простейшие, эволюционные преобразования.

7. *Биогеоценотический*. Биогеоценоз — однородный участок земной поверхности с определенной совокупностью организмов и косных компонентов (атмосфера, солнечная энергия и др.), объединенных обменом веществ и энергии в природный комплекс.

8. *Биосферный*. Биосфера — система высшего порядка, охватывающая живые организмы и среду их обитания, образующие динамическую систему, в атмосфере, гидросфере и в верхней части атмосферы. На этом уровне происходят круговорот веществ и превращение энергии, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, обитающих на Земле.

6.1.1. Свойства живых систем

Всем уровням организации живой материи присущи черты, отличающие ее от неживой материи. Рассмотрим общие, характерные для всего живого свойства и их отличия от сходных процессов, протекающих в неживой природе.

1. *Особенности химического состава*. В состав живых организмов входят те же химические элементы, что и в объекты неживой природы. Однако соотношение различных элементов в живой и неживой природе неодинаково. Элементарный состав неживой природы, наряду с кислородом, представлен в основном кремнием, железом, магнием, алюминием и т. д. В живых организмах 98% их массы приходится на четыре элемента: водород, кислород, углерод и азот.

2. *Обмен веществ*. Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой, поглощают из нее вещества, необходимые для питания, и выделяют наружу продукты жизнедеятельности.

Отметим, что в неживой природе также существует обмен веществами. Однако при небиологическом круговороте веществ они просто переносятся с одного места на другое или меняется их

агрегатное состояние (например, смыв почвы, превращение воды в пар или лед, растворение или кристаллизация минеральных соединений).

В отличие от обменных процессов, происходящих в неживой природе, у живых организмов они имеют качественно иной уровень. В круговороте органических веществ самыми существенными являются процессы синтеза и распада.

Живые организмы поглощают из окружающей среды различные вещества. Вследствие целого ряда сложных химических превращений вещества из окружающей среды усваиваются веществами живого организма, и из них строится его тело. Эти процессы называют ассимиляцией, пластическим обменом, или анаболизмом.

Приведем несколько примеров. Растения из двуокиси углерода и воды строят углеводы — крахмал и целлюлозу, которые используются как запасные питательные вещества и строительный материал. Белок куриного яйца в организме человека претерпевает целый ряд сложных превращений, прежде чем преобразуется в белки, свойственные нашему организму, — гемоглобин, кератин и др.

Другая сторона обмена веществ — процессы диссимиляции (катаболизм), в результате которых сложные органические соединения распадаются на простые, при этом утрачивается их сходство с веществами организма и выделяется энергия, необходимая для реакции биосинтеза. Обмен веществ обеспечивает постоянство химического состава и строения всех частей организма и, как следствие, постоянство функционирования в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

3. *Самовоспроизведение (репродукция)*. Способность к размножению, т. е. воспроизведению нового поколения особей того же вида, — одно из основных свойств живых организмов. Потомство в основных своих чертах обычно похоже на родителей. Из семян одуванчика вырастает одуванчик. Деление одноклеточного организма — амёбы — приводит к образованию двух амёб, полностью схожих с материнской клеткой. Таким образом,

размножение — это свойство организмов воспроизводить себе подобных.

Что лежит в основе процесса самовоспроизведения? Обратим внимание на то, что этот процесс осуществляется практически на всех уровнях организации живой материи. Благодаря репродукции не только целые организмы, но и клетки, органеллы клеток (митохондрии, пластыды и др.) после деления сходны со своими предшественниками. Из одной молекулы ДНК при ее удвоении образуются две дочерние молекулы, полностью повторяющие исходную.

В основе самовоспроизведения лежат реакции матричного синтеза, т. е. образования новых молекул и структур на основе информации, заложенной в последовательности нуклеотидов ДНК. Следовательно, самовоспроизведение — одно из основных свойств живого, тесно связанное с явлением наследственности.

4. *Наследственность* заключается в способности организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Она обусловлена стабильностью, т. е. постоянством строения молекул ДНК.

5. *Изменчивость*. Это свойство как бы противоположно наследственности, но вместе с тем тесно связано с ней, так как при этом изменяются наследственные факторы — гены, определяющие развитие тех или иных признаков. Если бы репродукция матриц — молекул ДНК — всегда происходила с абсолютной точностью, то при размножении организмов осуществлялась бы преемственность только существовавших прежде признаков, и приспособление видов к меняющимся условиям среды оказалось бы невозможным. Следовательно, изменчивость — это способность организмов приобретать новые признаки и свойства. В основе ее лежит изменение биологических матриц.

Изменчивость создает разнообразный исходный материал для естественного отбора, т. е. отбора особей, наиболее приспособленных к конкретным условиям существования в природных условиях, что в свою очередь приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

6. *Рост и развитие.* Способность к развитию — всеобщее свойство материи. Под развитием понимают необратимое направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. В результате развития возникает новое качественное состояние объекта, вследствие чего изменяется его состав или структура. Развитие живой формы существования материи представлено индивидуальным развитием, или онтогенезом, и историческим развитием, или филогенезом.

Онтогенез постепенно и последовательно проявляет индивидуальные свойства организмов. Независимо от способа размножения все особи, образующиеся из одной зиготы или споры, почки или клетки, получают по наследству только генетическую информацию, т. е. возможность проявить те или иные признаки. В процессе развития возникает специфическая структурная организация индивида. Развитие сопровождается ростом — увеличением его массы. Оно обусловлено репродукцией макромолекул, элементарных структур клеток, самих клеток.

Эволюция — это необратимое и направленное историческое развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением форм жизни. Результатом эволюции является все многообразие живых организмов на Земле.

7. *Раздражимость.* Любой организм неразрывно связан с окружающей средой: он извлекает из нее питательные вещества, подвергается воздействию неблагоприятных факторов среды, вступает во взаимодействие с другими организмами и т. д. В процессе эволюции у живых организмов выработалось и закрепилось свойство избирательно реагировать на изменение внешней и внутренней среды. Это свойство носит название раздражимости. Всякое изменение условий окружающей организм среды представляет собой по отношению к нему раздражение, а его реакция на внешние раздражители служит показателем его чувствительности и проявления раздражимости.

Реакция многоклеточных животных на раздражение осуществляется через посредство нервной системы и называется

рефлексом. Их реакции, выражающиеся в изменении характера движения или роста, принято называть таксисами или тропизмами, прибавляя для их обозначения название раздражителя. Например, фототаксис — движение по отношению к источнику света, хемотаксис — перемещение организма по отношению к концентрации химических веществ. Таксис может быть положительным или отрицательным в зависимости от того, действует раздражитель на организм привлекающим или отталкивающим образом.

Под тропизмом понимают определенный характер роста, который свойствен растениям. Так, гелиотропизм означает рост наземных частей растений (стебля, листьев) по направлению к Солнцу, а геотропизм — рост подземных частей (корней) в направлении к центру Земли.

8. *Дискретность*. Само слово “дискретность” произошло от лат. *discretus*, что означает “прерывистый”, “разделенный”. Дискретность — всеобщее свойство материи. Так, из курса физики и общей химии известно, что каждый атом состоит из элементарных частиц, а молекулы формируются из атомов. Из простых молекул образуются более сложные соединения или кристаллы и т. д.

Жизнь на Земле также проявляется в виде дискретных форм. Это означает, что отдельный организм или иная биологическая система (вид, биоценоз и др.) состоит из отдельных изолированных, т. е. обособленных или отграниченных в пространстве, но, тем не менее, тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство. Например, любой вид организмов представлен отдельными особями. В теле высокоорганизованной особи можно выделить пространственно отграниченные органы, которые, в свою очередь, состоят из отдельных клеток. Энергетический аппарат клетки представлен отдельными митохондриями, аппарат синтеза белка — рибосомами, и т. д., вплоть до макромолекул, каждая из которых может выполнять свою функцию, лишь будучи пространственно изолированной от других.

Дискретность строения организма — основа его структурной упорядоченности. Она создает возможность его постоянного самообновления путем замены “износившихся” структурных элементов (молекул, органоидов клетки, целых клеток) с сохранением выполняемой функции.

Дискретность вида представляет собой возможность его эволюции путем гибели или устранения от размножения непригодных особей и сохранения индивидов с полезными для выживания признаками.

9. *Саморегуляция (авторегуляция)*. Это способность живых организмов, обитающих в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность течения физиологических процессов. Так, недостаток поступления каких-либо питательных веществ мобилизует внутренние ресурсы организма, а избыток вызывает запасание этих веществ. Подобные реакции осуществляются разными путями благодаря деятельности регуляторных систем — нервной и эндокринной.

Сигналом для включения той или иной системы регуляции может быть изменение концентрации какого-либо вещества или состояния какой-либо системы. Например, понижение концентрации АТФ (аденозинтрифосфата) — универсального аккумулятора (накопителя) и переносчика энергии в клетке — служит сигналом, запускающим процесс его синтеза. Наоборот, восполнение запасов АТФ прекращает интенсивный синтез этого вещества. Повышение концентрации глюкозы в крови приводит к усилению выработки гормона поджелудочной железы — инсулина, уменьшающего содержание сахара в крови. Снижение уровня глюкозы в крови угнетает выделение гормона в кровяное русло. Уменьшение числа клеток в ткани (в результате травмы) вызывает усиленное размножение оставшихся клеток; восстановление нормального количества клеток дает сигнал о прекращении интенсивного клеточного деления.

10. *Ритмичность*. Это свойство присуще как живой, так и неживой природе. Обусловлено оно различными космическими

и планетарными причинами: вращением Земли вокруг Солнца, сменой времен года, фаз Луны и т. д.

Для неживой природы характерны, например, изменения освещенности и температуры в течение года и суток, приливы и отливы в морях и океанах, перемещение воздушных масс и т. д.

Повсюду в живой и неживой природе распространены колебательные процессы.

Океанские приливы и отливы, смена дня и ночи, фаз Луны, чередование времен года, периодическое увеличение солнечной активности, цикличность геологических процессов, в том числе периодическая смена суши морем и моря сушей, — все это разные формы колебательных процессов.

Периодические изменения в окружающей среде оказывают глубокое влияние на живую природу и на собственные ритмы живых организмов. Ритм — это повторение одного и того же события или воспроизведение одного и того же состояния через равные промежутки времени. В биологии под ритмичностью понимают изменения интенсивности физиологических функций с различными периодами (от нескольких секунд до лет и столетий). Хорошо известны суточные ритмы сна и бодрствования у человека, сезонные ритмы активности и спячки у некоторых млекопитающих и многие другие.

Ритмичность направлена на согласование функций организма с окружающей средой, т. е. на приспособление к меняющимся условиям существования.

11. *Энергозависимость.* Живые тела представляют собой “открытые” для поступления энергии системы. Это понятие заимствовано из физики. Под “открытыми” системами понимают системы, в которых непрерывно происходят поглощение и удаление веществ, а также обмен энергией с окружающей средой.

Живые организмы существуют до тех пор, пока к ним поступают энергия и материя в виде пищи из окружающей среды. Следует отметить, что живые организмы, в отличие от объектов неживой природы, отграничены от окружающей среды оболочками (наружная клеточная мембрана у одноклеточных, покровная ткань у многоклеточных). Эти оболочки выполняют защитную

функцию, обеспечивают постоянно внутреннюю среду, затрудняют обмен веществом между органами и внешней средой, поддерживают пространственное единство биологических систем.

Таким образом, живые организмы резко отличаются от объектов физики и химии — неживых систем — своей исключительной сложностью и высокой структурной функциональной упорядоченностью. Эти отличия придают жизни качественно новые свойства. Живое представляет собой особую ступень развития материи.

На самом деле очень трудно дать строгое определение понятия “жизнь”. Одно из определений с материалистических позиций более 100 лет назад дал Ф. Энгельс в произведении “Диалектика природы”: “Жизнь есть способ существования белковых тел, и этот способ существования состоит по своему существу в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел”. В это определение вошли два важных положения: 1) жизнь тесно связана с белковыми телами; 2) непременное условие жизни — постоянный обмен веществ, с прекращением которого прекращается и жизнь.

Достижения биологии нашего времени позволили вскрыть новые черты, характерные для живых организмов, и на этом основании дать более подробное определение понятия “жизнь”. Современные ученые определяют это понятие так: живые тела представляют собой открытые саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот.

6.1.2. Структура и функции биосферы

Биосфера представляет собой многоуровневую систему, включающую подсистемы различной степени сложности.

Границы биосферы определяются областью распространения организмов в атмосфере, гидросфере и литосфере. Верхняя граница биосферы проходит примерно на высоте 20 км. Таким образом, живые организмы расселены в тропосфере и в нижних слоях стратосферы. Лимитирующим фактором расселения в этой среде является нарастающая с высотой интенсивность ультра-

трафиолетовой радиации. Практически все живое, проникающее выше озонового слоя атмосферы, погибает.

В гидросферу биосфера проникает на всю глубину Мирового океана, что подтверждает обнаружение живых организмов и органических отложений до глубины 10–11 км.

В литосфере область распространения жизни во многом определяет уровень проникновения воды в жидком состоянии — живые организмы обнаружены до глубины примерно 7,5 км.

Наибольшее значение для биологических процессов имеют кислород атмосферы, используемый для дыхания организмов и минерализации мертвевшего органического вещества, углекислый газ, расходуемый при фотосинтезе, а также озон, экранирующий земную поверхность от жесткого ультрафиолетового излучения. Вне атмосферы существование живых организмов невозможно. Это видно на примере лишённой жизни Луны, у которой нет атмосферы. Исторически развитие атмосферы связано с геохимическими процессами, а также с жизнедеятельностью организмов. Так, азот, углекислый газ, пары воды образовались в процессе эволюции планеты благодаря (в значительной мере) вулканической активности, а кислород — в результате фотосинтеза.

Вода является важной составной частью всех компонентов биосферы и одним из необходимых факторов существования живых организмов. Основная ее часть заключена в Мировом океане, который занимает примерно 70% поверхности земного шара.

Количество воды в телах живых организмов достигает примерно 0,001 млн км³.

Из газов, растворенных в воде, наибольшее значение имеют кислород и углекислый газ. Количество кислорода в океанических водах изменяется в широких пределах в зависимости от температуры и присутствия живых организмов. Концентрация углекислого газа также варьирует, а общее количество его в океане в 60 раз превышает его содержание в атмосфере.

Гидросфера формировалась в связи с развитием литосферы, выделившей за геологическую историю Земли значительный объем водяного пара и ювенильных (магматических) вод.

Основная масса организмов, обитающих в пределах литосферы, сосредоточена в почвенном слое, глубина которого обычно не превышает нескольких метров. Почвы, будучи, по терминологии В. И. Вернадского (1863–1945 гг.), биокосным веществом, представлены минеральными веществами, образующимися при разрушении горных пород, и органическими веществами — продуктами жизнедеятельности организмов.

6.1.3. Живые организмы (живое вещество)

Среди растений и животных 93% представлены сухопутными, а 7% — водными видами. Суммарная биомасса организмов сухопутных видов образована на 99,2% зелеными растениями (2400 млрд т) и на 0,8% животными и микроорганизмами (200 млрд т). В океане, напротив, на долю растений приходится 6,3% (0,2 млрд т) совокупной биомассы. Несмотря на то, что океан покрывает большую часть поверхности планеты, в нем содержится лишь 0,13% биомассы всех живых существ, обитающих на Земле.

Расчеты показывают, что растения составляют около 21% всех учтенных видов. Однако на их долю приходится более 99% биомассы, тогда как вклад животных (79% учтенных видов) в биомассу планеты составляет менее 1%.

Среди животных 96% видов приходится на долю беспозвоночных и только 4 — на долю позвоночных, среди которых млекопитающие составляют примерно 10%.

Приведенные соотношения иллюстрируют фундаментальную закономерность организации биосферы: в количественном отношении преобладают формы, достигшие в процессе эволюции относительно низких степеней морфофизиологического прогресса.

Живое вещество по массе составляет 0,01–0,02% косного вещества биосферы, однако играет ведущую роль в биогеохимических процессах благодаря совершающемуся в живых организмах обмену веществ. Так как субстраты и энергию, используемые в обмене веществ, организмы черпают из окружающей среды, они

преобразуют ее уже тем, что в процессе своего существования используют ее компоненты.

Ежегодная продукция живого вещества в биосфере составляет 232,5 млрд т. сухого органического вещества. За это же время в масштабе планеты в процессе фотосинтеза образуется 46 млрд т органических углеродсодержащих веществ. Для этого требуется, чтобы 170 млрд т углекислого газа прореагировали с 68 млрд т воды. Таким образом, в результате фотосинтеза ежегодно образуется 115 млрд т сухого органического вещества и 123 млрд т кислорода. В течение года в процесс фотосинтеза вовлекаются также 6 млрд азота, 2 млрд т фосфора и другие элементы, например калий, кальций, сера, железо.

Приведенные цифры показывают, что живое вещество является наиболее активным компонентом биосферы. Оно производит гигантскую геохимическую работу, способствуя преобразованию других оболочек Земли в геологическом масштабе времени.

6.1.4. Биотический круговорот

Главная функция биосферы заключается в обеспечении круговорота химических элементов.

Глобальный биотический круговорот осуществляется при участии всех населяющих планету организмов. Он заключается в циркуляции веществ между почвой, атмосферой, гидросферой и живыми организмами. Благодаря биотическому круговороту возможно длительное существование и развитие жизни при ограниченном запасе доступных химических элементов.

Используя неорганические вещества, зеленые растения за счет энергии солнца создают органическое вещество, которое другими живыми существами разрушается, с тем чтобы продукты этого разрушения могли быть вновь использованы растениями для органического синтеза.

Важная роль в глобальном круговороте веществ принадлежит циркуляции воды между океаном, атмосферой и верхними слоями литосферы. Вода испаряется и воздушными течениями

переносится на многие километры. Выпадая на поверхность суши в виде осадков, она способствует разрушению горных пород, делая их доступными для растений и микроорганизмов, размывает верхний почвенный слой и уходит вместе с растворенными в ней химическими соединениями и взвешенными органическими частицами в океаны и моря. Подсчитано, что с поверхности Земли за 1 мин испаряется около 1 млрд т воды (на образование 1 г водяного пара необходима энергия в 2,248 кДж). Энергия, затрачиваемая на испарение воды, возвращается в атмосферу. Циркуляция воды между Мировым океаном и сушей представляет собой важнейшее звено в поддержании жизни на Земле и основное условие взаимодействия растений и животных с неживой природой. Под влиянием этого процесса происходит постепенное разрушение литосферы, перенос ее компонентов в глубины морей и океанов.

На создание органического вещества расходуется всего 0,1–0,2% солнечной энергии, достигающей поверхности планеты. Энергия биотического круговорота мала по сравнению с энергией, расходуемой в абиотических геохимических процессах, благодаря которой и осуществляется значительный объем работы по перемещению химических элементов.

В качестве примеров биотического круговорота рассмотрим круговорот углерода и азота в биосфере. Круговорот углерода начинается с фиксации атмосферного диоксида углерода в процессе фотосинтеза. Часть образовавшихся при фотосинтезе углеводов используют сами растения для получения энергии, часть потребляется животными. Углекислый газ выделяется в процессе дыхания растений и животных. Мертвые растения и животные разлагаются, углерод их тканей окисляется и возвращается в атмосферу. Аналогичный процесс происходит в океане.

Круговорот азота также охватывает все области биосферы. Хотя его запасы в атмосфере практически неисчерпаемы, высшие растения могут использовать азот только после соединения его с водородом или кислородом. Исключительно важную роль в этом процессе играют азотфиксирующие бактерии. При рас-

паде белков этих микроорганизмов азот снова возвращается в атмосферу.

Показателем масштаба биотического круговорота служат темпы оборота углекислого газа, кислорода и воды. Весь кислород атмосферы проходит через организмы примерно за 2 тыс. лет, углекислый газ — за 300 лет, а вода полностью разлагается и восстанавливается в биотическом круговороте за 2 млн лет.

Благодаря биотическому круговороту биосфере присущи определенные геохимические функции: газовая — биогенная миграция газов в результате фотосинтеза и азотфиксации; концентрационная — аккумуляция живыми организмами в своих телах химических элементов, рассеянных во внешней среде; окислительно-восстановительная; биохимическая.

Биосфера представляет собой сложную экологическую систему, работающую в стационарном режиме. *Стабильность биосферы* обусловлена тем, что результаты активности трех групп организмов, выполняющих разные функции в биотическом круговороте, — продуцентов (автотрофы), потребителей (гетеротрофы) и деструкторов (минерализующих органические остатки) — взаимоуравновешиваются. То, что в биосфере поддерживается постоянство ее главных характеристик (гомеостаз), не исключает ее способности к эволюции.

6.2. Принципы эволюции, воспроизводства и развития живых систем

6.2.1. Генетические теории

В основе принципов эволюции, воспроизводства и развития живых систем лежит триада дарвиновского учения — изменчивость, наследственность и естественный отбор. Фундаментальные свойства живых систем — наследственность и изменчивость — изучает генетика.

Генетика — относительно молодая наука. В 1865 г. Г. Мендель сформулировал основные законы наследственности, не

получившие признания. С 1900 г. начались широкие исследования, в ходе которых были заново открыты законы наследования признаков, сформулированы представления о мутациях, популяциях и чистых линиях организмов, хромосомная теория наследственности, открыт закон гомологических рядов наследственной изменчивости и др.

Новый этап развития генетики связан с усовершенствованием техники научных исследований. Сложные современные приборы позволили установить строение нуклеиновых кислот, раскрыть их значение в явлениях наследственности и расшифровать генетический код.

Обычно наследственность определяется как свойство родителей передавать свои признаки и особенности развития следующему поколению. Благодаря этому свойству каждый вид животных или растений сохраняет на протяжении поколений характерные для него черты. Обеспечение преемственности признаков — одна из сторон наследственности, другая сторона — точная передача специфического для каждого вида организмов типа развития и присущего только этому типу организмов обмена веществ.

Клетки, определяющие преемственность поколений, — специализированные половые клетки при половом размножении и неспециализированные клетки тела (соматические) при бесполом — несут в себе не сами признаки и свойства будущих организмов, а только задатки их развития. Эти наследственные факторы получили название генов. Геном является участок молекулы ДНК, определяющий возможность развития отдельного элементарного признака или синтез одной белковой молекулы.

Признак, определяемый каким-либо геном, может и не развиваться. Возможность проявления признаков в значительной степени зависит от присутствия других генов, а также от условий внешней среды. Следовательно, изучение условий проявления наследственности также составляет предмет генетики. У всех организмов одного и того же вида каждый конкретный ген располагается в одном и том же месте, в определенной хромосоме. В наборе хромосом имеется только один ген, ответственный за развитие данного признака.

Мутация, вызывающая изменение структуры гена, т. е. появление варианта исходного гена, приводит и к появлению варианта признака.

Совокупность всех генов одного организма называют *гено-типом*.

В рамках каждого вида организмы проявляют различия. Это хорошо видно, например, в пределах вида *Homo sapiens* (“человек разумный”), каждый представитель которого имеет свои индивидуальные особенности. Подобная индивидуальная изменчивость существует у представителей любого вида животных и растений.

Таким образом, изменчивость — это свойство организмов, противоположное наследственности. Изменчивость заключается в изменении наследственных факторов и, как следствие, в изменении их проявления в процессе развития организмов. Существуют разные типы изменчивости. Изучением причин, форм изменчивости и ее значения для эволюции также занимается генетика. При этом исследователи имеют дело не с наследственными факторами, а с результатами их проявления — признаками и свойствами. Поэтому законы наследственности и изменчивости изучают, наблюдая за признаками организмов в ряду поколений.

Совокупность всех признаков и свойств организма называют *фенотипом*. Сюда относятся не только внешние, видимые признаки (цвет глаз, волос, форма уха или носа, окраска цветков), но и биохимические (структуры белка, активность фермента, концентрация глюкозы или мочевины в крови и т. д.), гистологические (форма и размеры клеток, строение тканей и органов), анатомические (строение тела и взаимное расположение органов) и т. д. Другими словами, признаком может быть названа любая особенность строения, любое свойство организма. Под свойством понимают любую функциональную особенность организма, в основе которой лежит определенный структурный признак.

Следует помнить, что подавляющее большинство “простых” признаков — не что иное, как условное обозначение отличитель-

ных черт организма: карие или голубые глаза, высокий или низкий рост, прямые или курчавые волосы и т. д. Признаки, какими бы простыми они ни казались внешне, определяются многочисленными и сложными биохимическими процессами, каждый из которых обусловлен белком-ферментом — элементарным признаком. Таким образом, генетика — это наука о закономерностях наследственности и изменчивости — двух противоположных и вместе с тем неразрывно связанных между собой процессов, свойственных всему живому на Земле.

Теперь кратко остановимся на основных моментах эволюционного учения Дарвина. Выход в свет в 1859 г. книги Ч. Дарвина “Происхождение видов путем естественного отбора, или Выживание благоприятствующих пород в борьбе за жизнь” ознаменовал начало новой эры в развитии биологии. Учение Дарвина о естественном отборе явилось исходным пунктом для создания новой парадигмы биологии и формирования эволюционного взгляда на окружающий мир. Заслуга Дарвина в том, что он предложил механизм “действия” эволюции. Дарвин считал, что все многообразие живых организмов сформировалось в процессе длительной эволюции из более примитивных форм. Теория Дарвина сводится к следующему:

а) каждая особь того или иного вида обладает индивидуальностью (изменчивость);

б) черты индивидуальности (хотя и не все) могут передаваться по наследству (наследственность);

в) особи производят гораздо большее количество потомков, чем доживает до половой зрелости и начала размножения; этот факт говорит о том, что в природе происходит борьба за существование;

г) преимущество в борьбе за существование остается за наиболее приспособленными особями, которые имеют больше шансов оставить после себя потомство (естественный отбор);

д) именно таким образом (в результате естественного отбора) происходило постепенное усложнение уровней организации жизни и возникновение новых видов.

Теперь перейдем к истории развития жизни на Земле.

6.2.2. Условия, необходимые для возникновения жизни

В наше время большая часть ученых полагает, что жизнь возникла естественным путем из неживой материи, но в условиях, резко отличающихся от современных и на протяжении периода, длившегося сотни миллионов лет.

При каких условиях может возникнуть жизнь? Есть, очевидно, четыре главных условия, а именно:

- 1) наличие определенных химических веществ;
- 2) наличие источника энергии;
- 3) отсутствие газообразного кислорода (O_2);
- 4) “безгранично” долгое время.

Из необходимых химических веществ вода имеется на Земле в избытке, а прочие неорганические соединения присутствуют в горных породах, в газообразных продуктах извержений вулканов и в атмосфере. Но прежде чем говорить о том, как из этих простых соединений могли бы за счет различных источников энергии образоваться органические молекулы, обсудим третье и четвертое условия.

Время. Известно, что если при наличии катализатора то или иное превращение данного количества вещества завершается за одну-две секунды, то в его отсутствие для того же превращения могли бы потребоваться миллионы лет. Разумеется, и до появления катализаторов-ферментов химические реакции, хотя и медленно, но протекали.

После того как простые органические молекулы появились, они должны были бы еще объединяться во все более крупные и сложные структуры, а вероятность того, что это произойдет, да еще при надлежащих условиях, представляется крайне ничтожной.

Однако при наличии достаточного времени даже самые маловероятные события могут рано или поздно произойти. По современным данным, Земля образовалась приблизительно 5 млрд лет назад, а первые известные нам остатки прокариотических клеток обнаружены в горных породах, сформировавшихся на 1,1 млрд лет позднее.

Проведенные в соответствии с математической теорией вероятностей оценки показывают, что сколько бы ни маловероятным представлялось появление живых систем, тем не менее, времени (около 1 млрд лет) для таких случайных процессов могло быть достаточно.

Отсутствие газообразного кислорода. Очевидно, что жизнь могла возникнуть лишь в то время, когда в земной атмосфере не было или почти не было кислорода O_2 . Кислород взаимодействует с органическими веществами и разрушает их или лишает их тех свойств, которые делали бы их полезными для предбиологических систем. Это происходит медленно, но все же гораздо быстрее, чем протекали реакции, в результате которых должно было происходить образование органических веществ на древней Земле до появления жизни.

Поэтому если бы органические молекулы на древней Земле соприкасались с кислородом, то они существовали бы недолго и не успевали бы образовать более сложные структуры. В этом одна из причин того, что самопроизвольное зарождение жизни из органического вещества в наше время невозможно. Вторая причина в том, что в наши дни свободные органические вещества поглощаются бактериями и грибами еще до того, как их успевает разрушить кислород.

Древнейшие породы образовались на Земле в то время, когда ее атмосфера еще не содержала кислорода. Атмосферы самых больших планет нашей Солнечной системы Юпитера и Сатурна состоят главным образом из газообразного водорода (H_2), воды (H_2O) и аммиака (NH_3). Первичная земная атмосфера могла иметь такой же состав, но водород, будучи очень легким, вырывался, вероятно, из сферы притяжения Земли и рассеивался в космическом пространстве.

Солнечное излучение, гораздо более интенсивное на Земле, чем на внешних планетах, должно было вызывать разложение аммиака на газообразный водород (тоже ускользавший в космическое пространство) и газообразный азот. В то время, когда на Земле зарождалась жизнь, земная атмосфера состояла, вероятно, главным образом из водяных паров, двуокиси углерода и

азота с небольшой примесью других газов при почти полном отсутствии кислорода. Практически весь кислород, содержащийся в атмосфере в настоящее время, — это продукт фотосинтеза, происходящего в живых растениях.

Поиски истоков жизни

В 1924 г. академик А. И. Опарин выдвинул гипотезу о механизме зарождения жизни. В 1953 г. Стэнли Миллер (1930–2007 гг.) и Гарольд Юри (1893–1981 гг.) провели экспериментальную проверку этой гипотезы и подтвердили ее.

Миллер создал прибор, с помощью которого можно было в миниатюре воспроизвести условия, существовавшие на древней Земле. “Атмосферой” в этой модели служила смесь газообразного водорода, аммиака и метана, поскольку по существовавшим тогда представлениям первичная атмосфера состояла именно из этих газов. В камеру с “атмосферой” были вмонтированы электроды для получения электрических разрядов, имитировавших молнии — возможный источник энергии для химических реакций на древней Земле.

Потребовалась всего неделя экспериментов, чтобы в камере было обнаружено много различных органических соединений. Особо важно, что в этой смеси присутствовали такие соединения, как аминокислоты. Ведь аминокислоты — это строительные блоки белков, а ученые уже осознали, какую важную роль играют белки в различных видах активности живых клеток. При отсутствии кислорода во всех этих опытах удавалось получить широкий набор различных органических продуктов.

Эти соединения образуются в настоящее время в тех случаях, когда газообразные продукты извержения вулканов и лава вступают в реакцию с водой. Кроме того, различные органические соединения обнаруживаются также в метеоритах и в атмосфере других планет. Все это подтверждает, что органические вещества могли образоваться на древней Земле без участия живых организмов.

В отсутствие кислорода, который мог бы их разрушить, а также бактерий и грибов, которые использовали бы их в качестве

пищи, эти вещества могли накапливаться в первобытном океане до тех пор, пока весь он не превратился, по выражению Джона Холдейна (1892–1964 гг.), в “теплый разбавленный бульон”.

Следующим шагом было образование более крупных полимеров из малых органических мономеров. Для образования полимеров требовалась энергия. Требовалось также, чтобы воды при этом было не слишком много, потому что вода служит исходным соединением для гораздо более быстрой обратной реакции — расщепления полимеров на мономеры. Чтобы сохранять стабильность, смесь короткоцепочечных полимеров должна содержать как можно меньше воды.

При нагревании сухой смеси аминокислот таким образом — с помощью тепловой энергии — были получены цепи из аминокислот, которые были названы *протеиноидами* (т. е. белковоподобными веществами).

Некоторые протеиноиды способны, подобно ферментам, катализировать определенные химические реакции; возможно, именно эта способность была главной чертой, определившей их последующую эволюцию вплоть до возникновения настоящих ферментов.

Другие исследователи также получали полимеры посредством реакций, в которых катализаторами служили глины.

Образование агрегатов

Короткоцепочечные полимеры в высшей степени нестабильны и при добавлении воды обычно снова распадаются на мономеры. Более длинные цепи, однако, стремятся свертываться и стабилизируются благодаря притяжению между отдельными частями молекулы. Дождь или прилив, уносившие такие длинноцепочечные полимеры в море, уже, вероятно, не могли разрушить их.

Действительно, если смешать в воде различные виды полимеров, то они могут объединиться и образовать более крупные структуры. Какими свойствами должен был обладать подобный агрегат, чтобы мог превратиться в клетку? Мы знаем три главных свойства всех современных клеток, и ясно, что предшественники

настоящих клеток должны были обладать хотя бы зачатками этих свойств. Они должны были иметь:

1. Липидно-белковую мембрану, отделяющую клетку от окружающей среды и осуществляющую обмен различными веществами между клеткой и средой.

2. Белки, способствующие этому обмену со средой, выполняющие роль структурных компонентов и (это самое главное) катализирующие бесчисленные биохимические реакции клетки.

3. Нуклеиновые кислоты, содержащие информацию для синтеза определенных белков.

Агрегаты действительно обнаруживают какие-то следы всех упомянутых признаков. В силу своих особых химических свойств присутствующие в смеси липиды образуют на поверхности агрегатов оболочки. Агрегаты избирательно поглощают вещества из окружающей воды, так что многие малые молекулы накапливаются в них в весьма значительной концентрации. Некоторые агрегаты легко поглощают полимеры, состоящие из нуклеотидов (предшественников нуклеиновых кислот, которые являются носителями генетической информации в современных клетках). Кроме того, агрегаты проявляют способность катализировать различные химические реакции, в том числе и объединение малых молекул в полимеры. Свои внутренние полимеры они стабилизируют, снижая их склонность к распаду на мономерные звенья.

Возникновение метаболизма

В живых клетках осуществляется ряд сложных химических превращений, слагающихся из многих этапов. Совокупность всех химических реакций в живой клетке объединяют понятием “метаболизм”; сюда входят дыхание, высвобождающее энергию из питательных веществ; использование энергии для движения, для синтеза полимеров и для накопления веществ, поступающих в клетку из среды; превращение одних веществ в другие, после чего они используются, запасаются или выводятся из клетки.

Изучение агрегатов позволяет нам представить себе, как могли возникнуть сложные биохимические пути метаболиз-

ма. Для того чтобы подобные агрегаты превратились в живые организмы, потребовались многие миллионы лет химической эволюции, на протяжении которой шел отбор химических комбинаций, способных дольше всего просуществовать не разрушаясь. Присутствие в агрегате молекул, катализирующих реакции, которые делали его более стабильным, обеспечивало ему более длительное существование.

Исходные вещества для таких реакций в первое время были, вероятно, в изобилии, поскольку агрегатов, которые в них нуждались, было еще мало. Однако такие удачные, стабильные агрегаты росли и распадались на фрагменты; к ним добавлялись новые спонтанно возникшие агрегаты, и в конце концов необходимое сырье, очевидно, расходовалось быстрее, чем оно образовывалось под влиянием грозových разрядов, в теплых лужах, остающихся после отлива, или в результате деятельности вулканов.

В этих условиях должен был начаться отбор, благоприятствующий системам, способным более эффективно конкурировать за сырье, которого уже не хватало, или же системам, способным превращать в сырье какие-нибудь другие вещества, в которых недостатка не ощущалось. В конечном итоге конкуренция между системами, способными использовать эти другие вещества, должна была истощить и их запасы. Теперь преимущество получили уже системы, способные превращать какие-то третьи вещества во вторые, а вторые — в первые. При каждом повторении всей этой последовательности событий метаболические пути становились длиннее.

Преимуществом при отборе должны были пользоваться те системы, у которых катализаторы, осуществлявшие различные реакции, действовали быстрее всего: эти системы могли быстрее других накапливать необходимое им сырье, расти и размножаться.

Попробуем теперь представить себе, как в процессе эволюции могли образоваться такие метаболические системы, обеспечивающие клетки энергией. Биологам уже давно известно, что энергию для химических реакций в живых клетках поставляет аденозинтрифосфат. Вначале было высказано пред-

положение, что первые агрегаты получали энергию, поглощая АТФ из окружающего “бульона”, в котором он синтезировался из неорганических соединений. Позже, однако, выяснилось, что все клетки обладают способностью запасать энергию, перекачивая ионы водорода H^+ с одной стороны мембраны на другую. Эта энергия может затем непосредственно расходоваться на перенос веществ через мембрану или использоваться для синтеза АТФ.

Возможно, что у первых агрегатов или у примитивных клеток были такие “насосы”, приводимые в движение энергией солнечного света; известно, что этот источник энергии используют и в настоящее время некоторые виды бактерий для своих простых “насосов” ионов H^+ . Эти “насосы”, вероятно, поставляли гораздо больше энергии и создавали также возможность для многократного использования одного и того же АТФ. В процессе эволюции таких “насосов” могли возникнуть более длинные и более сложные цепи переноса электронов, подобные тем, какие мы обнаруживаем теперь, исследуя фотосинтез и дыхание.

Возникновение размножения

Хотя образовавшиеся путем самосборки агрегаты и имеют что-то общее с нынешними клетками, их все же нельзя считать “живыми”, поскольку они не обладали генетической информацией, которая позволяла бы им точно воспроизводить самих себя. Генетическая информация содержит “инструкции” по изготовлению специфических белковых молекул, участвующих в построении клеточных структур, катализирующих различные метаболические реакции клетки и т. п.

У современных организмов большая часть генетической информации закодирована в последовательности нуклеотидных мономеров ДНК.

ДНК содержит “инструкции” по изготовлению точных своих копий; поэтому при клеточном делении две дочерние клетки получают совершенно идентичную генетическую информа-

цию. Кроме того, ДНК направляет образование молекул РНК, а РНК в свою очередь определяет, в какой последовательности объединятся разные аминокислоты при образовании тех или иных белков.

В белковом синтезе участвуют различные молекулы, и все они, для того чтобы реакции могли идти, должны быть очень точно “подогнаны” друг к другу. Сейчас представляется вероятным, что первым носителем генетической информации была РНК, а не ДНК, которая выполняет эту роль почти у всех ныне живущих организмов.

Недавние эксперименты приводят к выводу, что генетическая информация возникла в форме РНК-полимеров, способных удваиваться. Можно представить себе, что эти РНК-полимеры со временем приобрели способность направлять сборку белков, а белки в свою очередь стали катализировать синтез новых копий РНК с большей скоростью. Между этими двумя классами веществ постепенно возникло “разделение труда”. Белки стали непосредственно осуществлять сборку новых молекул РНК и новых белков, а РНК — обеспечивать этот процесс необходимой информацией. ДНК стабильнее РНК и может копироваться с большей точностью. Вследствие этого РНК перешла на роль “посредника”, и теперь она переносит “инструкции” от ДНК к белку.

В процессе эволюции преимуществом должны были обладать агрегаты молекул, в которых взаимосвязи между протеиноидами и нуклеиновыми кислотами становились более четкими, потому что удачные комбинации могли давать удачное потомство и, следовательно, становились более многочисленными. В конечном итоге сформировалась существующая ныне система, со специфической функцией у каждого вида молекул и с точным распознаванием молекул, которые должны взаимодействовать, чтобы воспроизводить ДНК и синтезировать белки в соответствии с генетическими “инструкциями”.

Дальнейшее развитие жизни

С появлением надежного механизма воспроизведения генетической информации процесс возникновения жизни за-

вершился. Эра химической эволюции закончилась и наступила эра естественного отбора. Теперь уже недостаточно было просто выжить: отбор среди клеток велся по способности получать энергию более эффективным путем и обращать ее на создание потомства.

В течение долгого времени все организмы были гетеротрофами, так как пищей им служили органические молекулы из окружающего “бульона”.

Важным событием в эволюции жизни было развитие автотрофности, т. е. способности организмов синтезировать питательные вещества из неорганических соединений. После появления автотрофов живой мир перестал зависеть от органических веществ, которые медленно образовывались в среде; теперь Земля могла прокормить во много раз больше живых существ.

Самые обычные автотрофы наших дней — это зеленые растения, но их фотосинтетические пути представляют собой весьма совершенную форму автотрофности. Были и другие, не столь удачные “эксперименты” эволюции по изготовлению пищи своими силами; некоторые из таких механизмов сохранились и поныне, мы находим их у современных бактерий. Есть бактерии, живущие за счет хемосинтеза, т. е. добывающие энергию путем окисления различных неорганических соединений и использующие ее для фиксации углекислого газа в форме органических веществ в отсутствие света.

Имеются также бактерии с неодинаково выраженной способностью улавливать световую энергию. Фотосинтезирующие бактерии для получения водородных атомов, которые требуются им при построении органических веществ, разлагают не воду, а некоторые другие соединения и не образуют такого побочного продукта, как кислород. Изучая эти бактерии, мы можем составить себе представление о тех этапах, через которые могла идти эволюция фотосинтетического пути, имеющегося у современных высших растений.

Большая часть кислорода в нашей атмосфере представляет собой продукт фотосинтеза. Появление кислорода в атмосфере

привело к серьезному кризису, коренным образом изменившему условия среды. Это разрушительное действие кислорода породило, вероятно, давление отбора, которое и обусловило следующий важный шаг в эволюции живого — возникновение *дыхания*.

Подобно всем прочим метаболическим процессам, дыхание, конечно, эволюционировало постепенно. Эту эволюцию можно проследить, изучая метаболизм современных бактерий.

С течением времени в процесс дыхания включались все новые и новые этапы. Это давало клеткам возможность лучше регулировать извлечение энергии из продуктов гликолиза (образования глюкозы) и обеспечило больший выход энергии.

Способность синтезировать при дыхании большое количество АТФ в расчете на одну расщепленную молекулу глюкозы позволяла организмам расти и размножаться быстрее, а также обзаводиться новыми ферментами и новыми структурами.

6.2.3. Организм и среда

Часто кажется, что организмы находятся всецело во власти среды: среда ставит им пределы, и в этих пределах они должны либо преуспеть, либо погибнуть. Но организмы и сами воздействуют на среду. Они изменяют ее непосредственно за свое недолгое существование и за долгие периоды эволюции. Мы уже говорили о том, что гетеротрофы поглощали питательные вещества из первичного “бульона” и что автотрофы добавили к атмосфере кислород и подготовили условия для возникновения и эволюции процесса дыхания.

С появлением в атмосфере кислорода в ней возник также и озоновый слой (“озоновый щит” Земли). Озон O_3 образуется из кислорода O_2 под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. Озоновый слой действует как фильтр, задерживая ультрафиолетовое излучение и не давая ему дойти до поверхности Земли (ультрафиолетовое излучение губительно для белков и нуклеиновых кислот).

Первые организмы жили в воде, и вода экранировала их, поглощая энергию ультрафиолетового излучения. До появления защитного озонового слоя ультрафиолетовое излучение было,

вероятно, одним из главных факторов, препятствовавших выходу первых живых организмов из воды на сушу.

Первые вышедшие на сушу организмы нашли здесь в изобилии и солнечный свет, и минеральные вещества, так что вначале они были практически избавлены от конкуренции.

Деревья и травы, покрывшие вскоре значительную часть земной поверхности, пополняли запас кислорода в атмосфере; кроме того, они изменяли характер водного стока на Земле и ускоряли процесс образования почв из горных пород. Так организмы и среда на протяжении всей истории жизни на нашей планете взаимно формировали друг друга.

Гигантский шаг на пути эволюции жизни был связан с возникновением основных биохимических процессов обмена — фотосинтеза и дыхания — и с образованием клеточной организации, содержащей ядерный аппарат (эукариот). Эти процессы, возникшие еще на ранних стадиях биологической эволюции, в основных чертах сохранились у современных организмов.

Методами молекулярной биологии установлено поразительное единообразие биохимических основ жизни при огромном различии организмов по другим признакам. Белки почти всех живых существ состоят из 20 аминокислот. Нуклеиновые кислоты, кодирующие белки, собираются всего из четырех нуклеотидов. Биосинтез белка осуществляется по единообразной схеме, местом их синтеза являются рибосомы, в нем участвуют и-РНК и т-РНК (информационная и транспортная РНК). Подавляющая часть организмов использует энергию окисления, дыхания и гликолиза, которая запасается с помощью АТФ.

Рассмотрим подробнее особенности эволюции на клеточном уровне организации жизни. Различие между прокариотами и эукариотами заключается 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, обязателен кислород.

Сравнение прокариот и эукариот по потребности в кислороде приводит к заключению, что прокариоты возникли в период, когда содержание кислорода в окружающей среде изменилось.

Ко времени же появления эукариот концентрация кислорода была высокой и относительно постоянной.

Первые фотосинтезирующие организмы появились около 3 млрд лет назад. Это были анаэробные бактерии, предшественники современных фотосинтезирующих бактерий.

Обеднение среды азотистыми органическими соединениями вызывало появление живых существ, способных использовать атмосферный азот. Такими организмами являются фотосинтезирующие азотфиксирующие сине-зеленые водоросли, осуществляющие аэробный фотосинтез. Они устойчивы к продуцируемому ими кислороду и могут использовать его для собственного метаболизма. Поскольку сине-зеленые водоросли возникли в период, когда концентрация кислорода в атмосфере изменялась, вполне очевидно, что они — промежуточные организмы между анаэробами и аэробами.

Считается, что фотосинтез, в котором источником атомов водорода для восстановления углекислого газа является сероводород (такой фотосинтез осуществляют современные зеленые и пурпурные серные бактерии), предшествовал более сложному двустадийному фотосинтезу, при котором атомы водорода извлекаются из молекул воды. Второй тип фотосинтеза характерен для цианей и зеленых растений.

Фотосинтезирующая деятельность первичных одноклеточных имела два последствия, оказавшие решающее влияние на всю дальнейшую эволюцию живого.

Во-первых, фотосинтез освободил организмы от конкуренции за природные запасы абиогенных органических соединений, количество которых в окружающей среде значительно сократилось. Развившиеся посредством фотосинтеза автотрофное питание и запасание питательных готовых веществ в растительных тканях создали затем условия для появления громадного разнообразия автотрофных и гетеротрофных организмов.

Во-вторых, фотосинтез обеспечивал насыщение атмосферы достаточным количеством кислорода для возникновения и развития организмов, энергетический обмен которых основан на процессах дыхания.

Значительное количество данных об ископаемых эукариотах позволяет сказать, что их возраст составляет около 1,5 млрд лет.

В эволюции одноклеточной организации выделяются ступени, связанные с усложнением строения организма, совершенствованием генетического аппарата и способов размножения.

Прогрессивным явлением в филогенезе простейших было возникновение у них полового размножения. Постепенно в ходе прогрессивной эволюции происходит переход к разделению генеративных клеток на женские и мужские. При слиянии гамет образуется диплоидная зигота. Следовательно, у простейших наметился переход к начальной стадии ксеногамии (размножение путем перекрестного оплодотворения).

Последующее развитие уже многоклеточных организмов шло по пути совершенствования способов ксеногамного размножения.

Возникновение и развитие многоклеточной организации

Следующая после возникновения одноклеточных ступень эволюции — образование и прогрессивное развитие многоклеточных организмов. Эта ступень отличается большей усложненностью переходных стадий, из которых выделяются колониальная одноклеточная, первично-дифференцированная, централизованно-дифференцированная.

Колониальная одноклеточная стадия считается переходной от одноклеточного организма к многоклеточному и является наиболее простой из всех стадий в эволюции многоклеточной организации.

Первично-дифференцированная стадия в эволюции многоклеточной организации характеризуется началом специализации по принципу “разделения труда” у членов колонии. На первично-дифференцированной стадии происходит специализация функций на тканевом, органном и системно-органном уровне. Так, у кишечнополостных уже сформировалась простая нервная система, которая, распространяя импульсы, координирует деятельность двигательных, железистых, стрекательных,

репродуктивных клеток. Первного центра как такового еще нет, но центр координации уже имеется.

С кишечнополостных начинается централизованно-дифференцированная стадия эволюции многоклеточной организации. На этой стадии усложнение морфофизиологической структуры идет через усиление тканевой специализации, начиная с возникновения зародышевых листков, детерминирующих развитие пищевой, выделительной, генеративной и других систем органов. Возникает хорошо выраженная централизованная нервная система. Одновременно совершенствуются способы полового размножения — от наружного оплодотворения к внутреннему, от свободной инкубации яиц вне материнского организма к живорождению. Заключительным этапом централизованно-дифференцированной стадии стало возникновение человека.

Всех многоклеточных подразделяют на три царства: грибы, растения, животные. Относительно эволюции грибов известно очень мало, так как палеонтологическая летопись их остается скудной. Два других царства намного богаче представлены остатками, дающими возможность довольно подробно восстановить ход их истории.

6.2.4. Эволюция растительного мира

В *протерозойскую эру* (около 2500–1 млн лет назад) эволюционный ствол древнейших эукариот разделился на несколько ветвей, возникли многоклеточные растения (зеленые, бурые и красные водоросли), а также грибы. Большинство из первичных растений свободно плавало в морской воде, часть прикреплялась ко дну.

Существенным условием эволюции растений в *палеозойскую эру* (570–299 млн лет назад) было образование субстрата на поверхности суши в результате взаимодействия бактерий с минеральными веществами и под влиянием климатических факторов. В конце силурийского периода почвообразовательные процессы подготовили возможность выхода растений на сушу (около 450 млн лет назад).

Среди растений, первыми освоивших сушу, были псилофиты. От псилофитов возникли другие группы наземных сосудистых растений: плауны, хвощи, папоротники, размножающиеся спорами и предпочитающие водную среду.

Примитивные сообщества этих растений широко распространились в девоне (416–359 млн лет назад). В этот же период появились и первые голосеменные, возникшие от древних папоротников и унаследовавшие от них внешний древовидный облик. Переход к размножению семенами имел большое значение.

Значительного разнообразия достигла наземная флора в каменноугольный период (360–299 млн лет назад). Среди древовидных широко распространялись плаунообразные, достигавшие в высоту 30 м и более. В лесах богато были представлены древовидные папоротники и хвощеобразные каламиты. Из первичных голосеменных господствовали разнообразные птеридоспермы и кордаиты, напоминавшие стволами хвойных и имевшие длинные лентовидные листья.

Начавшийся в пермский период (298–251 млн лет назад) расцвет голосеменных, в частности хвойных, привел к их господству в *мезозойскую эру* (250–67 млн лет назад). К середине пермского периода (около 270 млн лет назад) климат стал засушливее, что во многом отразилось на изменениях в составе флоры. Исчезли гигантские папоротники, древовидные плауны, каламиты и постепенно пропал яркий колорит тропических лесов.

В меловой период (146–67 млн лет назад) произошел следующий сдвиг в эволюции растений — появились цветковые (покрытосеменные). Первые представители покрытосеменных были кустарниками или низкорослыми деревьями с мелкими листьями. Затем довольно быстро цветковые достигли огромного разнообразия форм со значительными размерами и крупными листьями (например, возникли семейства магнолиевых, платановых, лавровых).

Опыление насекомыми и внутреннее оплодотворение создали значительные преимущества цветковых перед голосеменными, что обеспечило их расцвет в *кайнозойскую эру*, которая началась 66 млн лет назад и охватывает современную эпоху.

В настоящее время число видов покрытосеменных составляет около 250 тыс.

Можно отметить основные особенности эволюции растительного мира:

1. Постепенный переход к преобладанию диплоидного деления над гаплоидным.

2. Независимость полового размножения от капельно-водной среды. Переход от наружного оплодотворения к внутреннему, возникновение двойного оплодотворения и обеспечение зародыша запасами питательных веществ.

3. В связи с прикрепленным образом жизни на суше растение расчленяется на корень, стебель и лист, развиваются сосудистая проводящая система и защитные ткани.

4. Совершенствование органов размножения и перекрестного опыления у цветковых в сопряженной с насекомыми эволюции. Развитие зародышевого мешка для защиты растительного эмбриона от неблагоприятных влияний внешней среды. Возникновение разнообразных способов распространения семян и плодов физическими и биотическими факторами.

6.2.5. Эволюция животного мира

История животных изучена наиболее полно в связи с тем, что они обладают скелетом и поэтому лучше закрепляются в окаменелых остатках. Самые ранние следы животных обнаруживаются в конце докембрия (700 млн лет назад). Предполагается, что первые животные произошли либо от общего ствола всех эукариот, либо от одной из групп древнейших водорослей. Наиболее близки к предкам простейших животных одноклеточные зеленые водоросли. Неслучайно, например, эвглену и вольвокс, способных и к фотосинтезу, и к гетеротрофному питанию, ботаники относят к типу зеленых водорослей, а зоологи — к типу простейших животных.

Разнообразие и количество палеонтологических документов в истории животных резко возрастают в породах, датированных периодом менее 570 млн лет. Довольно быстро появляются почти все типы животных с прочным скелетом. Тип хордовых возник менее 500 млн лет назад.

Начало *палеозойской эры* отмечено образованием многих типов животных, из которых примерно треть существует и в настоящее время. В позднекембрийское время (500 млн лет назад) появляются первые рыбы. В девоне возникают челюстные рыбы в результате таких крупных эволюционных преобразований, как превращение передней пары жаберных дуг в челюсти и формирование парных плавников. Первые челюстноротых представляли две группы: лучеперые и лопастеперые. Почти все живущие рыбы — потомки лучеперых. Лопастеперые имели в плавниках костные опорные элементы, из которых развились конечности первых обитателей суши. Следовательно, все четвероногие позвоночные имеют своим далеким предком эту исчезнувшую группу рыб.

Наиболее древние представители амфибий — ихтиостеги обнаружены в верхнедевонских отложениях (около 400 млн лет). Эти животные обладали пятипалыми конечностями, с помощью которых они могли переползать по суше. Конкуренция с кистеперыми заставляла этих первых земноводных занимать промежуточные между водой и сушей места обитания.

От примитивных амфибий ведут свое начало рептилии, широко расселившиеся на суше к концу пермского периода благодаря приобретению легочного дыхания и оболочек яиц, защищающих от высыхания.

Первые рептилии уступили место гигантским рептилиям, динозаврам, появившимся около 150 млн лет назад — в *мезозойскую эру*. Вполне вероятно, что последние, по сути, были теплокровными животными. Динозавры вели активный образ жизни, чем можно объяснить их длительное господство и существование с млекопитающими.

Уже в период господства динозавров существовала группа млекопитающих — небольших по размеру животных с шерстным покровом, возникших от одной из линий хищных рептилий — терапсид. Млекопитающие выходят на передний край эволюции благодаря таким прогрессивным особенностям, как более развитый мозг и связанная с этим большая активность, теплокровность, вскармливание потомства молоком.

Значительного разнообразия млекопитающие достигли в *кайнозойскую эру*, появились приматы.

Время от вымирания динозавров (65 млн лет назад) до последнего ледникового периода было временем расцвета млекопитающих. Прогрессивная эволюция приматов оказалась уникальным явлением в истории жизни, в итоге она привела к возникновению человека.

Наиболее существенные черты эволюции животного мира заключались в следующем:

1. Прогрессивное развитие многоклеточности и связанная с ним специализация тканей и всех систем органов. Свободный образ жизни (способность к перемещению) в значительной мере определил совершенствование форм поведения, а также относительную независимость индивидуального развития от колебаний факторов среды на основе развития внутренних регуляторных систем.

2. Возникновение твердого скелета: наружного — у членистоногих, внутреннего — у позвоночных. Такое разделение определило разные пути эволюции этих типов животных. Наружный скелет членистоногих препятствовал увеличению размеров тела, именно поэтому все насекомые представлены мелкими формами. Внутренний скелет позвоночных не ограничивал увеличение размеров тела, достигших максимальной величины у мезозойских рептилий — динозавров.

3. Разделение насекомых и позвоночных. Развитие центральной нервной системы у насекомых характеризуется совершенствованием форм поведения по типу наследственного закрепления инстинктов. У позвоночных развились головной мозг и система условных рефлексов. Наблюдается ярко выраженная тенденция повышения средней выживаемости отдельных особей.

Этот путь эволюции позвоночных привел к развитию форм группового адаптивного поведения, заключительным событием которого стало появление биосоциального существа — человека.

6.2.6. Эволюция биосферы

С момента возникновения жизнь в начале оформилась в виде примитивной биосферы, и с того времени ее эволюция тесно сопряжена с возникновением самых разнообразных видов микроорганизмов, грибов, растений, животных. Число вымерших видов, некогда обитавших на земном шаре, определяется разными авторами от одного до нескольких миллиардов. Многообразие видов, существовавших в прошлом и населяющих планету сейчас, — результат исторического развития биосферы в целом.

Согласно сформулированному В. И. Вернадским закону, названному им вторым биогеохимическим принципом, эволюция видов и возникновение устойчивых форм жизни шли в направлении усиления биогенной миграции атомов в биосфере. Именно живому компоненту биосферы, а не физико-географическим или геологическим процессам стала принадлежать ведущая роль в преобразовании вещества и энергии на поверхности Земли.

Взаимосвязь эволюции органического мира с основными биогеохимическими процессами в биосфере Вернадский усматривал прежде всего в биогенных миграциях химических элементов, т. е. в “прохождении” их через организмы. Определенные химические вещества (кальций, углерод) могут концентрироваться в организмах и при их отмирании скапливаться в минеральных и органических отложениях, в известняках, угле, торфе. Большая часть углекислого газа и азота в атмосфере — продукт жизнедеятельности организмов. Насыщение атмосферы кислородом было прямо связано с эволюцией фотосинтезирующих видов.

Основная структурная единица биосферы — биогеоценоз. Свойства биосферы в значительной мере определяются именно ее единицами — биогеоценозами. Входя в состав биосферы, биогеоценозы, естественно, связаны между собой. Эта связь выражается в обмене живыми компонентами при миграции особей, а также в потоках минеральных и органических веществ через поверхностные и грунтовые воды.

Исторические преобразования биосферы в целом складываются из эволюции биогеоценозов, которые в свою очередь

оказывают влияние на биосферу. Совокупность геологических и космических факторов существенно изменяла условия жизни на Земле. Поэтому уже с момента зарождения живое приспосабливалось к этим изменениям, что сопровождалось увеличением многообразия органических форм. Постепенно захват новых, ранее непригодных зон жизни, привел к почти полному заселению всех возможных для существования живого мест обитания. В результате этого все более увеличивалось “давление жизни”, обострялась борьба за существование между самими организмами. Биотические факторы становятся ведущими в эволюции.

Таким образом, эволюционные преобразования биосферы, обусловленные совместным действием биотических и абиотических факторов, — необходимые условия для существования жизни на Земле.

6.3. Многообразие живых организмов — основа организации и устойчивости биосферы

Австрийский геолог Эдуард Зюсс (1831–1914 гг.) в своем фундаментальном труде “Лик Земли” ввел понятие земных оболочек — сфер. Атмосфера, гидросфера и литосфера — это оболочки планеты, состоящие из веществ соответственно в газообразном, жидком и твердом состоянии. Сферы проникают друг в друга, и четкие границы между ними провести можно весьма условно.

Давая названия оболочкам земного шара, Э. Зюсс предложил термин “биосфера” для геологии. Он считал биосферу той областью, где проявляется “органическая жизнь”. Биосфера, по мнению ученого, представляет собой “сплошной покров из живого вещества”, в котором сконцентрирована огромная химическая энергия, являющаяся порождением солнечной.

В трудах русского естествоиспытателя В. В. Докучаева (1846–1903 гг.) были изложены основы представлений о “живой” оболочке планеты. Он высказал новые взгляды на почвы. К числу почвообразователей ученый относил грунт, климат, растительные и животные организмы, рельеф местности и время.

Создателем современного учения о биосфере стал ученик Докучаева В. И. Вернадский. В своей книге “Биосфера” он писал: “Биосфера не есть только так называемая область жизни”. По Вернадскому, вещество биосферы “состоит из глубоко разнообразных частей”: собственно живого вещества, биогенного (т. е. созданного или преобразованного организмами), косного (образованного геологическими процессами), радиоактивного, вещества космического происхождения. Биосфера является понятием планетарным, а не относящимся лишь к фауне и флоре. Это “строго организованная, определенная оболочка земной коры, неразрывно связанная с жизнью”. Она необратимо изменяется под действием различных факторов, в первую очередь под влиянием организмов, их прошлой и настоящей жизнедеятельности.

Биосфера отличается от прочих земных оболочек, так как является комплексной. Она не только “покров из живого вещества”, но и среда обитания миллионов видов живых организмов.

Еще на заре развития человеческой культуры людей поражала не только целесообразность строения отдельных живых существ, но и тот “порядок”, который существует в живой природе в целом. Уже в древнейших восточных источниках и особенно в трудах античных философов можно найти много интересных мыслей о взаимосвязи между животными и растениями, о единстве и целостности органического мира и его закономерном взаимодействии с органической природой.

При всем многообразии органический мир — не что-то разрозненное и хаотичное. Напротив, он представляет собой единое целое. Все виды животных и растений представляют собой различные формы существования живой материи. Как бы ни отличались друг от друга отдельные виды животных, растений и микроорганизмов, всем им присуще определенное биохимическое единство, выражающееся в общности химического состава (белков, углеводов, жиров, ферментных систем и др.) и близости типов реакций, лежащих в основе процессов ассимиляции и диссимиляции.

Одним из выражений такой близости служит, например, сходство химического состава растительного пигмента хлорофилла с животными кровяными пигментами — гемоцианинами, обеспечивающими дыхание. Химически близки ферменты растений и животных, и одинакова общая роль белков и нуклеиновых кислот. У всех животных, от простейших до человекообразных, основные ферменты сходны. Есть и много других признаков удивительной биохимической общности всех частей органического мира.

В то же время имеются и специфические особенности биохимизма, отличающие животных от растений, бактерии от вирусов, даже одну разновидность от другой.

В результате объединения отдельных видов сложной системы — биоценозов — образуется единая структура органического мира; она обладает высокой степенью слаженности, чем и объясняется ее устойчивость. Но эти связи одновременно и противоречивы, что определяется характером отношений каждого вида со средой.

Огромное видовое разнообразие живых организмов обеспечивает постоянный режим биотического круговорота. Каждый из организмов вступает в специфические взаимоотношения со средой и играет свою роль в трансформации энергии. Это сформировало определенные природные комплексы, имеющие свою специфику в зависимости от условий среды в той или иной части биосферы. Живые организмы населяют биосферу и входят в тот или иной биоценоз — пространственно ограниченную часть биосферы — не в любом сочетании, а образуют определенные сообщества из видов, приспособленных к совместному обитанию.

Важное экологическое правило состоит в том, что чем разнообразнее и сложнее биоценозы, тем выше их устойчивость, способность противостоять различным внешним воздействиям. Биоценозы отличаются большой самостоятельностью. Одни из них сохраняются в течение длительного времени, другие закономерно изменяются.

Процесс закономерного изменения биоценоза называется сукцессией. Сукцессия — это последовательная смена сообществ организмов (биоценозов, фитоценозов, биогеоценозов и т. п.)

другими на определенном участке среды. При естественном течении сукцессия заканчивается формированием устойчивой стадии сообщества. В ходе сукцессии увеличивается разнообразие входящих в состав биоценоза видов организмов, вследствие чего повышается его устойчивость.

Повышение видового разнообразия обусловлено тем, что каждый новый компонент биоценоза открывает новые возможности для вселения. Например, появление деревьев позволяет проникнуть в экосистему видам, живущим в подсистеме: на коре, под корой, строящим гнезда на ветвях, в дуплах.

Объединение разнородных индивидуумов в популяции, а различных популяций — в виды создает много преимуществ в борьбе за существование и обеспечивает более активные отношения вида со средой, поскольку здесь возникают более активные сложные формы групповой жизнедеятельности. Морфологическое разнообразие внутри вида, существование географических рас (подвидов) и биологических форм расширяют использование видом среды и имеют важное значение для успеха его борьбы за существование.

В каждый биоценоз, где бы он не находился, входят растения, питающиеся ими растительноядные животные, хищники и паразиты, живущие за счет растительноядных животных, и, наконец, микроорганизмы, минерализующие трупы животных и растений. Такие сообщества представляют собой целые системы, где существование одних видов без других невозможно, так как их обмен веществ приспособлен друг к другу, и одни виды используют продукты метаболизма других видов или их самих в качестве пищи.

В биоценозах на основе взаимодействия составляющих их видов возникают новые формы отношений живых существ с неживой природой.

Энергия в разных формах связывает все организмы на Земле друг с другом и со средой их обитания. Почти вся энергия, за счет которой существует биосфера, поступает на Землю в виде солнечного излучения. Дополнительные источники, незначительные для биосферы в целом, но важные для некоторых организмов, — это внутреннее тепло Земли и притяжение Луны.

Порция солнечной энергии, поступающая в виде света, связывается фототрофами, т. е. организмами, способными в процессе фотосинтеза преобразовывать световую энергию в энергию химических связей сложных органических веществ. Фотосинтез в течение по крайней мере 2,3 млрд лет является основой всей жизни на Земле. В результате фотосинтеза не только создается пища для всех животных, грибов и множества бактерий, использующих готовые органические вещества, но и выделяется в атмосферу кислород, необходимый для жизни большинства организмов.

Помимо энергии всем организмам необходимы определенные вещества, в частности, углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера. Эти шесть элементов необходимы всем живым существам в больших количествах. Все организмы нуждаются также в металлах — калии, кальции, железе и магнии.

Все эти элементы совершают в биосфере круговорот, переходя из одних организмов в другие. Если какого-либо элемента организму не хватает, то он перестает расти и размножаться, несмотря на то, что все остальные необходимые элементы могут при этом присутствовать в достаточном количестве. Все это незаменимые ресурсы, т. е. каждый из них необходим для жизни.

В то же время биосфера Земли является ресурсом для жизни живых организмов. Например, разнообразные виды микробов (хемогетеротрофы, фотоавтотрофы и др.) в результате жизнедеятельности вырабатывают углекислый газ, необходимый для жизни всех существ. Морские моллюски-гастроподы при жизни представляют собой пищевой ресурс для хищников, а их пустые раковины при разрушении выделяют кальций — пищевой ресурс для кораллов.

Бактерии, цианобактерии (сине-зеленые водоросли), микроскопические грибы, простейшие играют ведущую роль в жизни биосферы. Не будь микроорганизмов, круговорот веществ на планете не мог бы осуществляться. Условия, в которых ныне существуют высшие формы жизни (растения, животные), созданы микроорганизмами, прежде всего бактериями.

Мир бактерий разнообразен. Есть сообщества микроорганизмов, образующих даже горные породы, — строматолитов. Древнейшие микробные сообщества, к которым относятся и строматолиты, создали ту биохимическую “машину” планеты, в которую затем встраивались растения и животные. Именно они создали первую на Земле пленку органического вещества и обогатили атмосферу кислородом.

Возникшие значительно позже растения и животные в свою очередь создали для бактерий новые экологические ниши. Так, особые микробные сообщества складываются в почве, прилегающей к корням растений. Или, например, некогда проглоченные с частицами органического вещества бактерии в ходе эволюции образовали сообщества в пищеварительном тракте не только млекопитающих, но и беспозвоночных. Таким образом за миллионы лет выросло разнообразие форм микроорганизмов.

Всюду на Земле можно встретить разнообразные формы жизни — от невидимых вирусов и бактерий до громадных китов и гигантских деревьев. В результате роста разнообразия живых организмов шли укрепление устойчивости биосферы, ее развитие и усовершенствование. Это создавало предпосылки к эволюционному развитию видов и сохранению энергии и ресурсов.

В ходе естественного отбора в биоценозе неизбежно сохраняются лишь те виды организмов, которые могут наиболее успешно размножаться именно в данном сообществе. Формирование биоценозов имеет существенную сторону: “соревнование за место под солнцем” между различными биоценозами. В этом “соревновании” сохраняются лишь те биоценозы, которые характеризуются наиболее полным “разделением труда” между своими членами, а следовательно, более богатыми внутренними биотическими связями.

Таким образом, устойчивость биосферы в целом, ее способность эволюционировать определяются тем, что она представляет собой систему относительно независимых биоценозов. Взаимосвязь между ними ограничивается связями посредством неживых компонентов биосферы: газов, атмосферы, минеральных солей, воды и т. д.

Биосфера представляет собой иерархически построенное единство, включающее следующие уровни жизни: особь, популяция, биоценоз, биогеоценоз. Каждый из этих уровней обладает относительной независимостью, и только это обеспечивает возможность эволюции всей большой макросистемы.

Многообразие форм жизни, относительная устойчивость биосферы как среды обитания и жизни отдельных видов создают предпосылки для морфологического процесса, важным элементом которого является совершенствование реакций поведения, связанных с прогрессивным развитием нервной системы. Сохранились лишь те виды организмов, которые в ходе борьбы за существование стали оставлять потомство, несмотря на внутренние перестройки биосферы и изменчивость космических и геологических факторов.

Основной рост разнообразия произошел за счет значительного расширения экологического пространства и совершенствования экосистемы. Хищники становились все мощнее и проворнее. В ответ на усиление хищников появились защитные приспособления (панцири, шипы и т. д.). Для борьбы с хищниками и невзгодами природа наделила организмы увеличением потомства. Чем плодовитее вид, тем больше вероятность его выживания. Разнообразие живых организмов, от микроскопических бактерий до гигантских животных, вымирание одних с заменой на другие характеризуют устойчивость биосферы Земли.

Биологическое разнообразие животных увеличивается от полюсов к экватору и достигает своего пика в тропиках.

Велико биологическое разнообразие в морях и океанах. Наиболее населены прибрежные воды. А отдельные виды червей, моллюсков и рыб живут даже на дне океанских впадин, где глубина более 10 км. Жизнь существует даже около скважин на океаническом дне, откуда постоянно выбрасываются насыщенные солями жгучие растворы с температурой 300–450 °С. Отдельные виды губок и моллюсков выживают в нескольких сантиметрах от этих скважин.

Обладая разной толщиной, “пленка жизни” не прерывается нигде. По мнению некоторых ученых, время существования вида

в среднем составляет 660 тыс. лет. Однако акулы и головоногие моллюски, почти не меняясь, живут как виды уже многие миллионы лет.

В истории Земли были катастрофы, когда биоразнообразие резко сокращалось за короткие в геологическом масштабе сроки, как на суше, так и в океане. Многие виды исчезали, земная кора опускалась или поднималась, менялись уровень моря, климат. Виды погибали, не приспособившись к новым условиям, но они сменялись новыми, более приспособленными.

Биосфера проявила свою устойчивость и способность развиваться, несмотря на серьезные изменения в облике Земли (например ледниковые периоды). Именно благодаря многообразию живых организмов, их способности выживать, приспосабливаться к изменяющимся условиям, размножаться биосфера Земли, хотя и изменяется, но не теряет своей устойчивости.

В. И. Вернадский в труде “Научная мысль как планетарное явление” писал: “Жизнь на Земле существует потому, что на Земле существует жизнь! Новые и новые поколения организмов сменяли друг друга. Они пользовались тем, что создали предшественники, и в свою очередь преобразовали Землю для потомков”. Согласно концепции биосферы Вернадского вся известная по геологическим отложениям история Земли содержит следы деятельности живых организмов.

Появившийся на Земле около 74 тыс. лет назад новый вид — “человек разумный” — Вернадский рассматривал как естественную часть биосферы, а деятельность его — как важнейший геологический фактор. С появлением человека на биосферу Земли стало оказываться все возрастающее воздействие.

За время своего существования человек окультурил и стал выращивать около 2,5 тыс. видов цветковых растений, одомашнил 25 видов животных и птиц и вывел от них много новых пород. Развивая цивилизацию, человек сводит леса, распахивает степи, осушает болота, переселяет и пересаживает в новые места животных и растения.

Такое вмешательство в природу нарушает равновесие и в конечном итоге сокращает биологическое равновесие и разно-

образии. За два последних десятилетия XX в. площадь лесов сократилась на 200 млн га. При таких темпах трудно даже учесть, сколько гибнет животных и растений.

Потери в биологическом разнообразии начиная с 1600 г. следующие: за 400 лет исчезли 83 вида млекопитающих, 113 видов птиц, 21 вид рептилий, 23 вида рыб и 384 вида высших растений.

Если естественное вымирание животных в последние 100 млн лет приводило к исчезновению в среднем одного вида за каждое тысячелетие, то с 1600 г. один вид исчезал каждые 10 лет! А в конце XX в. планета теряет один вид позвоночных животных ежегодно. В настоящее время под угрозой исчезновения находится почти 20 тыс. видов растений, 1355 видов рептилий, 924 вида птиц и 414 видов млекопитающих.

Исчезновение видов живых организмов нарушает тонкий баланс природы, который складывался миллионы лет. Обедневшие экологические системы (леса, луга, озера и т. д.) становятся неустойчивыми и подвергаются разрушению при любом изменении внешних условий. Все это создает угрозу устойчивости биосферы, способствует ее разрушению, так как от исчезновения одного вида тянется скрытая цепочка последствий, подчас опасных не только для природы, но и для человечества.

Поэтому биологическое разнообразие планеты нуждается в охране. Для этого во всех странах мира создаются заповедники, заказники, национальные парки. Они находятся под охраной государства и закона. Только в России существуют 204 особо охраняемые природные территории.

Охрана природы должна быть повсеместной. На территории заповедников и национальных парков запрещена любая хозяйственная деятельность, охота. Однако надо не только расширять сеть заповедников, но одновременно добиваться, чтобы было меньше отходов, загрязняющих Землю.

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия) была подписана Конвенция ООН о биологическом и ландшафтном разнообразии. В ней выражена решимость общими усилиями сохранять и поддерживать богатство и разнообразие всего живого.

Всемирный фонд дикой природы собирает пожертвования частных лиц и организаций на финансирование научных исследований, направленных на сохранение биологического разнообразия на Земле. Фонд ежегодно собирает и тратит более 270 млн долларов на поддержание существующих заповедников, создание новых, на борьбу с незаконной торговлей дикими животными, на сохранение исчезающих и редких животных.

Многообразие живых организмов — основа устойчивости биосферы. Биосфера, являясь целостной, согласованно функционирующей системой, имеет пределы своей устойчивости, и проблема изучения стабильности и устойчивого развития биосферы является одной из фундаментальных. При выходе за эти пределы система проходит через цепь бифуркаций, скачкообразно меняет свои свойства и может прекратить свое существование.

До интенсивного развития техносферы за последние 50 лет антропогенные воздействия не достигали этих пределов. Однако в настоящее время планетарная сила человеческой деятельности достигла большого могущества. И если “наступление на природу” будет продолжаться всевозрастающими темпами, то в недалеком будущем может произойти переход биосферы за пределы устойчивости.

Индикаторами приближения биосферы к границе неустойчивости являются загрязнения окружающей среды, потепление климата, утоньшение озонового слоя, уменьшение биоразнообразия, необратимое изменение связей в биогеоценозах и т. д.

Любые живые особи представляют собой сложнейшие типы коррелированности на молекулярном, клеточном, организменном, популяционном уровнях. Главной особенностью жизни является то, что в силу сложности корреляций любой конкретный тип коррелированности в биоте всегда неустойчив и непременно распадается с течением времени.

Сохранение этой коррелированности живых особей возможно только в рамках популяции этих особей, причем необходимым условием сохранения природы в целом является разнообразие (многообразные экосистемы), а устойчивости популяций — на-

личие конкурентно взаимодействующих особей. Коррелированность различных видов в сообществах обеспечивает биотическую регуляцию.

Естественная биота не использует невозобновляемых ресурсов для поддержания своего существования. Это следует из постоянства запасов органического и неорганического углерода в биосфере, а современное энергопотребление человеческого общества на 90% основано на невозобновляемых ресурсах; тем самым нарушается устойчивость природных систем и происходит их загрязнение.

Каждый живой организм адаптирован к своей экологической нише, в которой он может устойчиво существовать и развиваться. В этом смысле биосферу можно рассматривать как экологическую нишу устойчивого существования и развития цивилизованного человека в условиях НТР только при сохранении естественной биоты на больших территориях Земли и сокращении общего энергопотребления и оптимизации роста населения.

В связи с проблемой устойчивости экосистем возникла необходимость разработки концепции устойчивого развития. Принятие этой концепции должно было стимулировать разработку общей стратегии развития человеческого общества на базе экологически целесообразного природопользования, сохранения благоприятного для людей состояния окружающей среды, обеспечивающего приемлемое качество жизни для нынешнего и последующих поколений людей. Эту концепцию можно рассматривать в конечном итоге как переход общества к ноосфере.

Заключая настоящий параграф, следует еще раз подчеркнуть, что человечество живет не только за счет ресурсов современной биосферы, но и за счет эксплуатации природных ресурсов. Железные и марганцевые руды Кривого Рога, Урала — продукт деятельности железобактерий. Самородная сера — результат деятельности серобактерий. Почвы — продукт сложного взаимодействия живой и косной материи. Эксплуатация этих ресурсов началась в железном веке, но в полной мере развернулась со времен “промышленной революции” XVII–XVIII вв., а в XX в. темпы ее все возрастают.

Существующая в настоящее время идеология “общества потребления” губительна для биосферы, для составляющих ее экосистем, для сохранения видового и экосистемного биоразнообразия, для вида *Homo sapiens*, выживание которого зависит в первую очередь от устойчивости биосферы, а она зависит от сохранения биоразнообразия.

Каждый из видов, населяющих нашу планету, — результат многомиллионлетней эволюции, носитель неповторимых генетических особенностей. Мы обязаны сохранить и передать потомкам то биологическое разнообразие, которое существует на Земле. Это биоразнообразие — следствие неповторимости эволюционных путей, приведших к формированию каждого вида.

То принципиально новое, что внес наш век в понимание проблемы органического многообразия, сводится к следующему: сохранение биоразнообразия — неперемнное условие существования на Земле человека. Постепенно не только натуралисты, но и ученые других специальностей, широкие массы людей начинают понимать, что удивительное разнообразие форм жизни — это не просто результат приспособления каждого вида к конкретным условиям среды (абиотической и, главное, биотической), но и важнейший механизм обеспечения устойчивости всей биосферы, состоящей из множества биогеоценозов, иными словами — механизм обеспечения стабильности жизни на Земле.

6.4. Генетика и эволюция

6.4.1. Генетика

Генетика — это область биологии, изучающая закономерности наследственности и изменчивости живых организмов. Она исследует материальные носители наследственности — гены, причины и закономерности их изменчивости, способы реализации наследственной информации на молекулярном, клеточном и организменном уровнях и изменение наследственных структур в процессе эволюции.

Таким образом, основной задачей генетики является изучение проблем хранения, передачи, реализации и изменчивости наследственной информации.

Изучение генетических проблем осуществляется с применением большого числа методов. Основным из них является гибридологический, или метод скрещиваний, разработанный и примененный Г. Менделем. Его дополняют следующие методы, имеющие важное самостоятельное значение: цитогенетический, изучающий поведение хромосом при делении; физиологический; биохимический; биофизический; онтогенетический (эмбриологический); молекулярно-генетический; метод культуры клеток и тканей; генеалогический, исследующий закономерности наследования по родословным; близнецовый и др. Каждый из них действует на определенном уровне организации живой материи в зависимости от специфики исследуемого объекта.

Исследовать генетические проблемы можно практически на любом виде организмов, однако более целесообразно использовать специальные объекты, удовлетворяющие ряду критериев. К ним относятся короткий период полового созревания, длительный репродуктивный цикл, большое количество половых клеток и, следовательно, потомков, небольшое число цитологически различных хромосом, существование специальных видов хромосом, удобство культивирования в лабораторных условиях, наличие большого числа четко различимых признаков.

Конечно, далеко не всякий экспериментальный объект характеризуется набором этих свойств. Тем не менее, чем ближе он к идеалу, тем удобнее для изучения. К числу таких объектов относятся животные (инфузории, дрозофила, мышь, крыса), растения (горох, пшеница), грибы (дрожжи, нейроспора), водоросли (хламидомонада), бактерии (кишечная палочка, сальмонеллы) и вирусы (бактериофаги).

Многие задачи генетики успешно решаются на клеточных культурах объектов разнообразного происхождения — от насекомых до человека.

Важным для генетики является понятие наследственного (генетического) признака. Под генетическим признаком пони-

мают любое свойство объекта, по которому существуют качественные или количественные различия, четко передаваемые из поколения в поколение.

Признаки подразделяются на качественные — их проявления дискретны, четко отличаются одно от другого (например, признак окраски венчика у растений, имеющих проявления в виде красного и белого цветов; форма и расположение цветков (на побеге), а также количественные — проявления таких признаков могут быть измерены, четких различий между ними, как правило, не существует (например, рост, масса тела у млекопитающих; яйценоскость кур; удоимость крупного рогатого скота). Наиболее ярко закономерности наследования проявляются в случае качественных признаков.

Совокупность всех признаков и свойств организма образует фенотип, а все гены, их определяющие, составляют генотип.

Основным носителем наследственной информации является ДНК, которая в ассоциации с белками образует особые структуры, называемые хромосомами. Хромосомы находятся в ядре клетки и отличаются у разных организмов как по размерам и форме (морфологии), так и по численному составу. Специфический набор хромосом характеризует тип вида. В процессах клеточных делений хромосомы ведут себя упорядоченно.

Генетика прошла в своем развитии семь основных этапов. Перечислим их (более подробно историческая часть рассмотрена в разделе “История биологических знаний”).

1. Г. Мендель открыл законы наследственности. Скрещивая гладкий и морщинистый сорта гороха, он получил в первом поколении только гладкие семена, а во втором поколении — $1/4$ морщинистых семян. В результате он установил: в зародышевую клетку поступают два наследственных фактора — от каждого из родителей. Если они не одинаковые, то у гибрида проявляется один, доминантный (преобладающий), признак — гладкость. Рецессивный (уступающий) остается как бы в скрытом состоянии. В последующем поколении признаки распределяются в соотношении $3 : 1$. Результаты исследования Менделя, опубликованные в 1865 г., не обратили на себя никакого внима-

ния, и законы наследственности были повторно открыты только после 1900 г.

2. А. Вейсман показал, что половые клетки обособлены от остального организма и поэтому не подвержены влияниям, действующим на соматические ткани.

3. Х. де Фриз открыл существование наследуемых мутаций, составляющих основу дискретной изменчивости. Он предположил, что новые виды возникали вследствие мутаций. Мутация — это частичное изменение структуры гена. Конечный ее эффект — изменение свойств белков, кодируемых мутантными генами. Появившийся в результате мутации признак не исчезает, а накапливается. Мутации вызываются радиацией, химическими соединениями, изменением температуры, наконец, могут быть просто случайными.

4. Т. Морган создал хромосомную теорию наследственности, в соответствии с которой каждому биологическому виду присуще свое строго определенное количество хромосом.

5. Г. Меллер установил, что генотип может изменяться под действием рентгеновских лучей. Отсюда берут свое начало индуцированные мутации (генетическая инженерия) с их возможностями и опасностями вмешательства в генетический механизм.

6. Д. Уотсон и Ф. Крик в 1953 г. предложили модель молекулярной структуры ДНК и механизма ее репликации. То, что именно ДНК — носитель наследственной информации, выяснилось в середине 1940-х гг., когда после перенесения ДНК одного штамма бактерий в другой в нем стали появляться бактерии штамма, чья ДНК была взята.

Чуть позже был открыт триплетный перекрывающийся генетический код, универсальный для всех организмов, и ядро стало пониматься как орган управления, содержащий всю информацию о клетке.

Законы Менделя

Основоположником генетики, как уже отмечалось, является Г. Мендель, который впервые применил исключительно эффек-

тивный метод исследования — гибридологический. Сущность его заключается в скрещивании организмов, отличающихся друг от друга по одному или нескольким признакам, и детальном анализе потомства. Такие исследования позволили Г. Менделю сформулировать законы наследования.

Первый закон, или закон единообразия: у гибридов первого поколения проявляются признаки только одного родителя (доминантный признак), не проявляющиеся при этом признаки Мендель назвал рецессивными.

Второй закон, или закон расщепления: в потомстве, полученном от скрещивания гибридов первого поколения, наблюдается явление расщепления (в соотношении 3 : 1); в случае полного доминирования четверть особей из гибридов второго поколения имеет рецессивный признак, три четверти — доминантный.

Третий закон, или закон независимого наследования: каждая пара признаков наследуется независимо от других пар; расщепление по каждой паре генов (в соотношении 3 : 1) идет независимо от других пар генов.

Законы генетики носят статистический характер, так как сочетание генов имеет случайный характер, а результат скрещивания будет тем ближе к ожидаемому, чем больше число потомков.

Признаки организма, как уже отмечалось, можно подразделить на качественные и количественные. Качественные признаки устанавливаются описательным путем (окраска, форма, масть, половые различия). Наследование качественных признаков происходит по законам Менделя.

Количественный характер признаков определяется измерением (масса семян, яйценоскость). Большинство признаков, важных при разведении животных и выращивании растений, носит количественный характер.

В процессе эволюции происходит направленное изменение фенотипа и генотипа вследствие размножения организмов. Приспособленность к определенным условиям среды не означает прекращения естественного отбора в популяции. Существует форма отбора, которая постоянно исключает отклоняющихся от нормы особей, — так называемый стабилизирующий отбор.

6.4.2. Генетический код

Молекулы ДНК всего органического мира во всех исследованных группах животных и растений слагаются из одних и тех же дезоксирибонуклеотидов, включающих два пуриновых основания (аденин и гуанин — А и Г) и два пиримидиновых (цитозин и тимин — Ц и Т). Во всем органическом мире строго соблюдаются закономерности, подмеченные Эрвином Чаргаффом (1905–2002 гг.) (“правила Чаргаффа”). Среди них могут быть выделены следующие:

1. Количество пуриновых нуклеотидов равно количеству пиримидиновых нуклеотидов: $A + G = T + C$.
2. Содержание аденина равно содержанию тимина: $A = T$.
3. Содержание гуанина равно содержанию цитозина: $G = C$.
4. Суммы $G + T$ и $A + C$ равны, т. е. $G + T = A + C$.

Содержание $G + C$ и $A + T$ может варьировать в довольно значительных пределах. Поэтому для ДНК, наряду с единым планом строения, обусловленным ее жесткой двуспиральной структурой, существуют возможности бесконечного варьирования состава и последовательности оснований.

Исключительную роль в науках о наследственности играет генетический код. В живой клетке имеются органеллы — рибосомы, которые в определенном смысле “читают” первичную структуру ДНК и синтезируют белки в строгом соответствии с “записанной” на ДНК “инструкцией”. Каждой тройке (триплету) нуклеотидных остатков рибосома ставит в соответствие одну из 20 возможных аминокислот (сигнал начала или конца синтеза данного белка), и следовательно, первичная структура ДНК определяет последовательность аминокислот в синтезируемой полипептидной цепи белка, кодируемого этим геном, или, иначе говоря, первичную структуру белка.

Аминокислоты — это органические соединения, в молекулах которых содержатся карбоксильные (COOH) и аминные (NH_2) группы. В построении молекул белка участвуют обычно 20 аминокислот: аланин, валин, глицин, изолейцин, лейцин, метионин, серин, тирозин, треонин, фенилаланин, цистеин, аспаргиновая,

глутаминовая кислота, аргинин, лизин, аспаргин, глутамин, гистидин, пролин, триптофан. В тканях живых организмов встречаются и другие аминокислоты (всего их до 150), не входящие в состав белков.

Кодирующими нуклеотидами (кодонами) являются, например, следующие триплеты: УУЦ, ГУА, АЦА, АГЦ, ГГГ, ЦГГ и т. д. Три триплета соответствуют стоп-кодонам: УАА, УАГ, УГА. Полное число триплетов из четырех исходных пептидных оснований (аденин А, гуанин Г, цитозин Ц и тимин Т) равняется 64. Всего, за исключением стоп-кодонов, имеется 61 кодон. Многие аминокислоты кодируются более чем одним кодоном, т. е. код является вырожденным и это способствует его устойчивости. Размер гена связан с размером того белка, который он кодирует. Если он кодирует белок, состоящий из 200 аминокислот (повторяющихся), то в нем будет 200 триплетов, т. е. 600 пар нуклеотидов.

Каждая аминокислотная частица (пуплеотидный остаток) направляется на собственное место в белковую цепь при помощи определенной последовательности “букв” кода в молекуле (или молекулах) ДНК.

Генетический код не сводится только к кодонам. На основе последних могут образовываться более крупные комплексы: цистроны, опероны и др. Цистрон определяет последовательность аминокислот в системе “отдельная белковая молекула — фермент”. Такая независимая единица является генетической “фразой”.

Оперон управляет кодирующими белки цистронами. Это нечто вроде “красной” строки, обозначающей начало каждого “абзаца”.

Молекулярно-генетический уровень связан с онтогенетическим (связанным с индивидуальным развитием особи), а также с популяционно-видовым уровнем организации живого. Так, популяция сходных особей, живущих на ограниченной территории и скрещивающихся между собой, называется генетической популяцией. С ней связан фундаментальный генетический закон Харди–Вайнберга, который гласит: любая популяция, в которой

распределены пары генов А и В с соответствующими частотами p и q в данной популяции, удовлетворяющая соотношению $p^2AA + 2pqAB + q^2BB = 0$, находится в генетическом равновесии. Доли этих генов в последующих поколениях будут оставаться постоянными, если их не изменит отбор, мутационный процесс или какая-либо случайность.

6.4.3. Мутации

Процесс, в результате которого происходит деление клеток, удвоение хромосом и генов, чрезвычайно точен. Он приводит к появлению миллионов и миллиардов клеток с совершенно одинаковыми хромосомами и генами. Но иногда этот процесс нарушается, и тогда хромосомы новой клетки оказываются не абсолютно подобными старой. Это явление называется мутацией.

Согласно воззрениям Т. Моргана, ген представляет собой единицу мутации и рекомбинации, т. е. при мутировании ген изменяется как целое. Рекомбинация происходит только между генами.

Однако по мере увеличения разрешающей способности генетического анализа становилось ясно, что ген делим и не является единицей мутации и рекомбинации. В связи с усиливающимся проникновением в молекулярную структуру генетического материала все труднее становится находить в молекулах ДНК границы того, что обозначают понятиями “ген” и “гены” (как наследственные факторы, части генотипа). Растет число открываемых генетических единиц. Мутации могут затрагивать всю хромосомную или большую часть ее, образуя хромосомные мутации. Мутации в небольшой части хромосомы — гене, а точнее в небольшом отрезке молекулы ДНК, называются генными, или точечными мутациями.

Примеры хромосомных мутаций:

1. Потеря хромосомой фрагмента после ее разрыва в двух местах (делеция);
2. Поворот участка ДНК на 180° после разрыва хромосомы (инверсия).
3. Обмен двух хромосом своими кусками (транслокация).
4. Удвоение участка в хромосоме (дупликация).

Примеры генных мутаций:

1. Замена одного нуклеотидного основания другим (например, аденина А на гуанин Г);
2. Выпадение одного основания (делеция);
3. Включение одного дополнительного основания (дупликация);
4. Поворот молекулы ДНК на 180° (инверсия).

Следствием генетических и хромосомных мутаций являются синдром Дауна, альбинизм и др. В настоящее время генетики диагностируют уже сотни наследственных болезней обмена веществ.

Во второй половине XX в. были исследованы механизмы наследственности, выходящие за пределы классической хромосомной наследственности. В начале 1960-х гг. было доказано существование второй генетической системы, локализованной вне хромосом. Эти гены получили название цитоплазматических. Подобно хромосомным генам они содержат нуклеиновую кислоту. Впервые цитоплазматический ген был обнаружен Карлом Корренсом (1864–1933 гг.) еще в 1908 г. Корренс сделал правильные выводы относительно этого гена, но успех хромосомной генетики надолго затмил собою все остальные направления наук о наследственности.

6.4.4. Генная инженерия

Генная инженерия — экспериментальная наука. Она возникла на стыке молекулярной биологии и генетики, официально — в 1972 г., когда в лаборатории П. Берга (Стентфордский университет, США) была получена первая рекомбинантная (гибридная) ДНК на базе объединения различного генетического материала. Генная инженерия нацелена на создание организмов с новыми комбинациями наследственных свойств путем конструирования функционально активных генетических структур в форме рекомбинантных ДНК из фрагментов геномов разных организмов, которые вводились в клетку.

В 1973–1974 гг. в Стендфордском университете были сконструированы функционально активные молекулы гибридной ДНК, т. е. удалось их клонирование. Были созданы первые, не

существующие в природе, плазмиды (стабилизаторы наследственности) на базе ДНК разных видов бактерий и высших организмов: из ДНК лягушки, морского ежа и мыши.

В генной инженерии используются ферменты, разрывающие двухцепочную ДНК в зоне участка узнавания или на незначительном фиксированном расстоянии от него. Фермент распознает специфичную последовательность и разрезает ее. Образуются выступающие одноцепочные концы, получившие название “липких”. В настоящее время известно несколько сотен фрагментов ДНК, содержащих определенные гены.

Работы в направлении синтеза гена начались еще до 1972 г. Так, в 1969 г. появились публикации по выделению генов при помощи физических и генетических методов. На начальном этапе развития генной инженерии широко использовался способ получения генов из природных источников, и он до сих пор применяется для создания белка генов.

Не менее важна генная инженерия как аппарат фундаментальных исследований. Потенциальные возможности генной инженерии велики, и они будут реализовываться.

Клонирование — это воспроизведение живого существа из его половых клеток. Клонирование органов и тканей — важнейшая задача в области трансплантологии, травматологии и в других областях медицины и биологии. При пересадке клонированных органов не возникают реакции отторжения и другие последствия (например, рак, развивающийся на фоне иммунодефицита). Клонированные органы — это спасение для людей, попавших в автомобильные аварии или иные катастрофы, а также нуждающихся в радикальной помощи из-за каких-либо заболеваний. Клонирование может дать бездетным людям возможность иметь своих собственных детей; поможет людям, страдающим тяжелыми генетическими заболеваниями. Так, если гены, определяющие какую-либо подобную болезнь, содержатся в хромосомах отца, то в яйцеклетку матери пересаживается ядро ее собственной соматической клетки, тогда появится ребенок, лишенный опасных генов, точная копия матери. Если эти гены содержатся в хромосомах матери, то в ее яйцеклетку будет пере-

мещено ядро соматической клетки отца — появится здоровый ребенок, копия отца.

Более скромная, но не менее важная задача клонирования — регуляция пола сельскохозяйственных животных, а также клонирование человеческих генов “терапевтических белков”, которые используются для лечения людей, например гемофиликов, у которых мутировал ген, кодирующий белок, участвующий в процессе свертывания крови.

6.4.5. Эволюция

Эволюционное учение — это наука о причинах, движущих силах, механизмах и общих закономерностях исторического развития животного мира. Эволюцией в биологии называют непрерывное направленное развитие животного мира, сопровождающееся изменением строения и уровней организации разных групп организмов, позволяющее им более эффективно приспосабливаться и существовать в самых различных условиях обитания.

Эволюционное учение является теоретической базой биологии, так как объясняет основные особенности, закономерности и пути развития органического мира, позволяет понять причину единства и огромного многообразия органического мира, выяснить исторические связи между разными формами жизни и предвидеть их развитие в будущем. Эволюционное учение обобщает данные многих биологических наук, позволяет понять механизмы и направления изменчивости живой материи и использовать эти знания в практике селекционных работ.

Одним из первых ученых, занимавшихся исследованиями теории эволюции, был французский биолог Ж. Ламарк, считавший, что виды постепенно изменяются, порождая новые, т. е. эволюционируют. Значительный вклад Ламарка в биологическую мысль состоял в том, что он привел убедительные (для своего времени) аргументы в поддержку теории эволюции, выступив противником теории независимого и неизменного развития видов, утверждавшей, что с течением времени наблюдаются слабые отклонения от нормальных форм, но, в конце концов, эти

уклонившееся формы возвращаются к прежнему состоянию, что не может привести к возникновению новых видов.

Ламарк выдвинул гипотезу о факторах, контролирующих эволюционные изменения. Ламарк предполагал, что живые существа обладают способностью постепенно, в течение многих поколений, изменяться от простой структуры или организации к более сложной и совершенной. Также он заметил, что часто используемые органы, как правило, имеют тенденцию увеличиваться в размере и выглядят более развитыми по сравнению с теми, которые менее упражняются. Ученый предположил, что изменения, приобретенные организмом в течение жизни, могут наследоваться потомством в определенной степени. Удивительно тонкую и сложную структуру органов, обеспечивающих приспособленность к выполнению специфических функций, он объяснял изменениями, накапливаемыми в поколениях в результате наследования этих “приобретенных признаков”. Однако четкого механизма направленной эволюции мира животных и растений Ламарк не предложил.

Ученым, совершившим переворот в развитии эволюционной теории, является Чарльз Дарвин. Дарвиновская концепция эволюции признает существование такой групповой изменчивости, которая приобретается организмами под действием определенных факторов; считает, что только случайные индивидуальные изменения, оказывающиеся полезными, могут передаваться по наследству и тем самым влиять на процесс дальнейшей эволюции.

Вот несколько слов Чарльза Дарвина в обоснование гипотезы естественного отбора (“Происхождение видов...”): “Можно ли сомневаться, учитывая борьбу каждой особи за существование, что любое малое изменение в стремлении, привычках или инстинктах, способствующее лучшей приспособленности организма к новым условиям, скажется на его силе и благополучии. В борьбе за существование оно дает больше шансов выжить, и те потомки, которые унаследовали это изменение, пусть даже очень малое, имеют больше преимуществ. Ежегодно появляется больше потомков, чем может выжить. В течение жизни поколения самый

малый выигрыш в балансе укажет, кто должен погибнуть и кто выживет. Такое действие отбора, с одной стороны, и гибель особей — с другой, продолжаются в течение тысяч поколений”.

В результате своих исследований Дарвин вывел основные принципы своей эволюционной теории.

Согласно первому из них изменчивость является неотъемлемой частью всего живого.

В природе не существует двух совершенно одинаковых, тождественных организмов. Мы все тщательнее и глубже изучаем природу и убеждаемся во всеобщем, универсальном характере изменчивости. Например, на первый взгляд может показаться, что все деревья в сосновом бору одинаковые, но более внимательное изучение покажет некоторые различия между ними. Одна из сосен дает более крупные семена, другая — лучше переносит засуху, у третьей — повышенное содержание хлорофилла в иголках и т. д. В определенных условиях эти незначительные, на первый взгляд, различия могут стать тем решающим изменением, которое и определит, останется ли организм в живых или нет.

Дарвином выделены два типа изменчивости:

1) “индивидуальная, или “неопределенная”, изменчивость, т. е. передающаяся по наследству;

2) “определенная”, или “групповая”, — подверженная той группе организмов, которые оказываются под воздействием определенного фактора внешней среды.

Второй принцип теории Дарвина — борьба за существование — состоит в раскрытии внутреннего противоречия в развитии живой природы. С одной стороны, все виды организмов имеют тенденцию к размножению в геометрической прогрессии, а с другой — выживает и достигает зрелости лишь небольшая часть потомства.

Чарльз Дарвин характеризует этот принцип как борьбу за существование. Под этим термином Дарвин подразумевает различные отношения между организмами, начиная от сотрудничества внутри вида против неблагоприятных условий окружающей среды и заканчивая конкуренцией между организмами.

Третьим принципом называется принцип естественного отбора, играющий фундаментальную роль во всех эволюционных теориях. Естественный отбор объясняет, почему из большого количества организмов выживает и развивается лишь небольшое количество особей. Ч. Дарвин писал: “Выражаясь метафорически, можно сказать, что естественный отбор ежедневно и ежедневно расследует по всему свету мельчайшие изменения, отбрасывая дурные, сохраняя и слагая хорошие, работая неслышно и невидимо, где бы и когда бы ни представился к тому случай, над усовершенствованием каждого органического существа в связи с условиями его жизни, органическими и неорганическими” (“Происхождение видов...”).

Самым слабым местом в теории Дарвина были его представления о наследственности. Неясным оставалось, каким образом признаки, связанные со случайным появлением полезных изменений, могут сохраняться в потомстве и передаваться следующим поколениям. Таким образом, теория Дарвина нуждалась в доработке и обосновании с учетом других биологических дисциплин, в частности — генетики.

Развитие биологии в XX в. и ее достижения в области генетики и молекулярной биологии привели к созданию *синтетической теории эволюции (СТЭ)*. В ней принципы Ч. Дарвина были взяты за основу, но значительно развиты и дополнены в соответствии с новыми знаниями в области генетики. Если, по Дарвину, процесс эволюции — это эволюция особей, то, согласно СТЭ, основной минимальной единицей эволюционных изменений является популяция.

Эволюционные изменения в популяции, новые устойчивые признаки, передающиеся по наследству, зависят от следующих эволюционных факторов: перестройки носителей наследственности — генов, популяционных волн, рекомбинации, изоляции и естественного отбора. Перестройка генов является основой разнообразия особей в популяциях.

Но, естественно, образование нового вида не является конечной точкой эволюции. В связи с этим перед учеными возникают проблемы раскрытия механизмов, лежащих в основе более

масштабных преобразований. Поэтому принято рассматривать два различных уровня протекания эволюционного процесса — внутривидовой и надвидовой. В связи с этим различают:

- 1) микроэволюцию — эволюционные процессы на уровне популяций, приводящие к образованию новых видов;
- 2) макроэволюцию — эволюцию надвидовых таксонов (классов, семейств, отрядов и т. д.), в результате которой формируются более крупные систематические группы.

Синтетическая теория эволюции — это комплекс представлений о микро- и макроэволюции.

Теория микроэволюции изучает необратимые преобразования генетико-экологической структуры популяции (вида), приводящие к формированию нового вида. При этом популяция — элементарная единица эволюции.

Теория макроэволюции занимается происхождением надвидовых таксонов, обосновывает закономерности развития жизни на Земле, в том числе и происхождение человека.

Согласно синтетической теории естественный отбор в популяции — движущий фактор эволюции; эволюция — это отбор мутаций; изменения ненаправленны и случайны. Непредсказуемость многообразия сочетаний исходных популяций и состояний среды определяют неограниченность прогресса; макроэволюция осуществляется посредством микроэволюции и приводит к появлению новых форм жизни.

Биологическая эволюция — необратимое и направленное историческое развитие живой природы, сопровождающееся изменением генетического состава популяций, образованием и вымиранием видов, преобразованием биогеоценоза и биосферы в целом. В биологии эволюционные изменения — это те изменения, благодаря которым потомки какой-нибудь группы организмов начинают радикально отличаться от своих предков морфологически, физиологически и психологически.

Современная эволюционная теория, как уже отмечалось, по ряду пунктов отличается от первоначально выдвинутой Ч. Дарвином. Прежде всего современная теория развития органического мира основана на прочном фундаменте теории корпускулярной наследственности.

Законы наследственности были важным, но не единственным дополнением к теории эволюции. Годфри Харди (1877–1947 гг.) в 1908 г. обратил внимание на определенные особенности распространения дискретных признаков в совокупности особей, а С. С. Четвериков (1880–1959 гг.) в 1926 г. показал, что все эволюционные события реально протекают в природе внутри популяции, которая, как губка, насыщена мутациями, скрытыми под внешней однородностью облика особей.

Развитие этого направления исследований в последующие годы оказалось очень плодотворным (Сьюэлл Райт (1889–1988 гг.); А. С. Серебровский (1892–1948 гг.) и Н. П. Дубинин (1907–1998 гг.); Рональд Фишер, 1890–1962 гг.) и привело в конце концов к формулировке понятия микроэволюции (Ф. Г. Добжанским и Н. В. Тимофеевым-Ресовским).

Микроэволюционные процессы охватывают события, протекающие до видообразования, они могут реально наблюдаться в природе и воспроизводиться в эксперименте. В этом их существенное отличие от макроэволюционных событий, происходящих на уровне родов, семейств, отрядов, классов и т. п., о которых мы можем судить лишь по косвенным данным. Микроэволюционный подход дает возможность более четко и строго, чем это было возможно раньше, выделить действующие силы, материал и единицы эволюционного процесса.

Одним из ведущих достижений современной теории эволюции является обоснование того факта, что элементарной эволюционирующей единицей является не особь и не вид, а популяция.

Элементарная структура эволюционного процесса объективно существует в природе и поддается сколько угодно полному научному исследованию, ограниченному лишь уровнем развития методов познания. Популяция может быть исследована как в природе, так и в эксперименте морфологическими, физиологическими методами и т. д. Популяционная генетика, популяционная морфология, популяционная экология — специализированные современные науки, объектом которых является популяция.

Как элементарное популяционное явление должно рассматриваться устойчивое, длительное и направленное изменение генотипического состава популяции. Благодаря действию естественного отбора такое изменение обычно является, образно говоря, “квантом” адаптивной перестройки популяции. Объектом элементарных эволюционных явлений становятся, таким образом, популяции, а не отдельные особи или целые виды.

Современная экспериментальная биология подтверждает тот факт, что главную массу элементарного эволюционного материала поставляют хорошо известные теперь по природе и свойствам различные формы мутации. Именно они являются теми элементарными наследственными изменениями, которые в комбинациях друг с другом определяют все известные нам изменения признаков, свойств и норм реакции у организмов. В сумме они составляют ту “неопределенную”, “индивидуальную” изменчивость, которую еще Ч. Дарвин назвал основой процесса эволюции.

Огромное количество мутаций в скрытом виде находится в природных популяциях. Разнообразие генетического материала многократно возрастает из-за бесконечной комбинаторики разных генов.

В течение эволюции единичное случайное изменение становится необходимостью, если оно полезно в конкретных условиях. Эволюция в целом управляется статистическими закономерностями. В ходе исторического развития через случайные изменения перестраиваются не только все органы, все стадии индивидуального развития и весь организм, но и структура популяций, видов, биоценозов, структура биосферы в целом.

В качестве основных факторов эволюции еще со времен Ч. Дарвина обычно рассматривались изменчивость, наследственность и борьба за существование (естественный отбор). В настоящее время в связи с микроэволюционным подходом стало ясно, что правильнее говорить не вообще о факторах, а о факторах — поставщиках элементарного эволюционного материала, по своей природе действующих ненаправленно (мутационный процесс и популяционные волны), об изоляции как факторе, усиливающем и

закрепляющем достигнутые различия, и о естественном отборе — единственно направляющем, творческом факторе.

Естественная частота возникновения мутаций не только характеризует разные виды животных, растений и микроорганизмов, но и оказывается различной у популяций внутри вида. Для многих видов и популяций уже изучена и определена частота спонтанного мутирования. Применяемые при этом генетические методы анализа не оставляют сомнения в реальности мутационного процесса как фактора эволюции в живой природе.

Одним из факторов эволюции считают популяционные волны, или “волны жизни”, обоснованные С. С. Четвериковым в 1926 г., — количественные флуктуации численности индивидов, обычно связанные с изменением размеров ареала (области распространения) популяции.

Очень многочисленные и очень малочисленные популяции не являются благоприятными для возникновения новых форм. В больших популяциях вновь возникшим наследственным изменениям труднее проявиться в ощутимых концентрациях, а в маленьких решающую роль в определении судьбы данного наследственного изменения могут сыграть случайные процессы.

Популяционные волны могут быть обусловлены различными причинами:

- а) периодическими колебаниями уровня какого-либо фактора среды, в том числе сезонными изменениями;
- в) непериодическими изменениями условий существования (например, природными катастрофами, колебаниями пищевых ресурсов);
- с) заселением новых территорий (классическим является пример вспышки численности завезенных в Австралию кроликов).

Изоляция — также важный фактор эволюции. Уже Дарвину было ясно, что для возникновения нового вида группа индивидумов старого вида должна обособиться. Однако не имея данных по закономерностям наследственности, Дарвин не придавал должного значения изоляции как необходимому условию возникновения всякой группы, как важному эволюционному

фактору. Сейчас твердо установлено, что для обособления какой-либо группы организмов в конце концов необходимо, чтобы особи этой группы не могли скрещиваться с другими особями вида. Изоляция как фактор филогенетической дифференцировки может быть выражена в разных формах: географической (наличие непреодолимых географических преград), экологической (различия в периодах спаривания, предпочтения определенных местообитаний и проч.), этологической (различия в особенностях поведения), но любая изоляция должна завершаться генетической изоляцией.

Вышеописанные элементарные факторы эволюции, различаясь по механизмам и роли в эволюционном процессе, обладают одной общей чертой — ненаправленностью. Они вносят случайные изменения. Например, в результате мутации могут появиться особи с различной окраской, с длинными крыльями или вообще без крыльев, вне зависимости от того, какой фенотип “выгоднее” в данных условиях среды. Таким образом, элементарные факторы создают базу для эволюции признаков, представляя “сырой материал” для действия естественного отбора.

Естественный отбор обеспечивает протекание процесса эволюции в том или ином направлении. В результате его действия в популяции происходит увеличение относительного числа особей, обладающих определенным свойством или качеством. Естественный отбор определяют как процесс дифференциального (выборочного) размножения генотипов. Отбор “подхватывает” случайно возникшие полезные (для данных условий среды!) мутации и насыщает ими генофонд. В этом заключается направляющая роль отбора в эволюции.

Отбор не должен рассматриваться как какая-то самостоятельная сила. Прежде всего это сложный процесс (или совокупность процессов), происходящий как внутри популяции, подвергающейся изменениям, так и между разными популяциями.

Блестящим достижением современной эволюционной теории послужил анализ так называемого балансируемого полиморфизма, показавший возможность обнаружения в природных популяциях абсолютно вредных для организмов признаков в том

случае, если они в сочетании с другими признаками способны предохранять популяцию от еще более вредных признаков.

Результатом эволюции является образование из популяций новых видов. Не претендуя на полноту формулировки, в общих чертах определим вид как совокупность занимающих определенный ареал популяций, особи которых обладают сходными морфофизиологическими и биохимическими особенностями, свободно скрещиваются друг с другом и дают плодовитое потомство.

Вид — единица более крупного ранга, чем популяция, — качественно своеобразный этап развития живой материи. В эволюции вид выступает как совокупность множества генотипов, обладающих собственной эволюционной судьбой.

Качественное отличие вида от других единиц более высокого таксономического ранга — родов, семейств, отрядов — в том, что он представляет наименьшую, неделимую генетически, закрытую систему (популяции, составляющие вид, — тоже генетически закрытые системы, но не постоянные, а временные, так как пока популяция входит в какой-либо вид, она потенциально способна обмениваться генетической информацией с другими популяциями).

По мере углубления наших знаний углубляется и расширяется понимание тех внутренних противоречивых явлений и связей, которые лежат в основе всякого развития. В этом заключается одна из важнейших сторон познания явлений природы. Существенный сдвиг в понимании всего процесса эволюции представляет информационно-кибернетический подход к определению содержания понятий теории эволюции.

Глава 7. ЧЕЛОВЕК: ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ФИЗИОЛОГИЯ, ЗДОРОВЬЕ, БИОЭТИКА

7.1. Физиология, здоровье, эмоции, творчество, работоспособность

Человек представляет собой целостное единство биологического (организменного), психического и социального уровней, которые формируются из природного и социального, наследственного и прижизненно приобретенного. При этом человеческий индивид — это не простая арифметическая сумма биологического, психического и социального, а их интегральное единство, приводящее к возникновению новой качественной ступени — человеческой личности. Будучи высшей ступенью развития живых организмов на Земле, человек по своей природе представляет собой единство природных и социальных качеств, получивших отражение в определении человека как целостной многосложной биосоциальной системы.

Определяющим условием становления человека является труд, появление которого ознаменовало собой превращение животного предка в человека. В труде человек постоянно изменяет условия своего существования, преобразуя их в соответствии со своими постоянно развивающимися потребностями, создает мир материальной и духовной культуры в той же мере, в какой сам человек формируется культурой. Труд невозможен в единичном проявлении и с самого начала выступает как коллективный, социальный.

Развитие трудовой активности полностью изменило природную сущность предка человека. В социальном отношении труд повлек за собой формирование новых, социальных качеств человека, как-то: речи, мышления, общения, ценностных ориентаций, мировоззрения и др. В психологическом отношении он имел своим следствием преобразование инстинктов в двух планах: в плане их подавления, торможения (подчинения контролю разума) и в плане их преобразования в новое качественное состояние сугубо человеческой познавательной деятельности — интуицию.

Все, чем обладает человек, чем он отличается от животных, является результатом его жизни в обществе. И это относится не только к опыту, который индивид приобретает в течение своей жизни. Ребенок появляется на свет уже со всем анатомо-физиологическим богатством, накопленным человечеством за прошедшие тысячелетия.

При этом характерно, что ребенок, не впитавший в себя культуру общества, оказывается самым неприспособленным к жизни из всех живых существ. Вне общества нельзя стать человеком. Известны случаи, когда в силу обстоятельств совсем маленькие дети попадали к животным. И что же? Такие дети не овладели ни прямой походкой, ни членораздельной речью и подражали тем животным, среди которых они жили. Их мышление оказалось столь примитивным, что о нем можно говорить лишь с известной долей условности. Это — яркий пример того, что человек в собственном смысле слова есть как бы постоянно действующий приемник и передатчик социальной информации, понимаемой в самом широком смысле слова как способ деятельности.

Исходным пунктом понимания человеческой личности является трактовка человека как субъекта и продукта трудовой деятельности, на основе которой формируются и развиваются социальные отношения. Такое понятие социальности, однако, не отрицает биологического компонента в человеческой личности, также имеющего универсальный характер.

Биологическое и социальное, существующие в нераздельном единстве в человеке, в абстракции фиксируют лишь крайние

полюсы в многообразии человеческих свойств и действий. Так, если идти в анализе человека к биологическому полюсу, мы “спустимся” на уровень его организменных (биофизических, физиологических) закономерностей, ориентированных на саморегуляцию вещественно-энергетических процессов как устойчивой динамической системы, стремящейся к сохранению своей целостности. В этом аспекте человек выступает как носитель биологической формы движения материи.

Но ведь он не просто организм, не просто биологический вид, а в первую очередь субъект общественных отношений. Если таким образом идти в анализе человека к его социальной сущности, начиная от его морфологического и физиологического уровня и далее к его психофизиологической и духовной структуре, то мы тем самым переместимся в область социально-психологических проявлений человека как личности.

Организм и личность — две неразделимые стороны человека. Своим организменным уровнем он включен в природную связь явлений и подчиняется природной необходимости, а личностный уровень обращен к социальному бытию, к обществу, к истории человечества, к культуре.

Биологическая сторона человека детерминирована главным образом наследственным (генетическим) механизмом. Социальная же сторона человеческой личности обусловлена процессом вхождения человека в культурно-исторический контекст социума. Ни то, ни другое в отдельности, а только их функциональное единство может приблизить нас к пониманию человека. Это, разумеется, не исключает, что в разных познавательных и практических целях акценты могут несколько смещаться на биологическое или социально-психологическое в человеке. Но в итоговом осмыслении непременно должно осуществиться совмещение этих сторон человека.

Можно и нужно исследовать, например, то, как проявляется природная, биологическая сущность общественно развитого человека или, напротив, социально-психологическая сущность природного начала в человеке, но понимание человека, его личности и в том и в другом исследовании должно основываться на

понятии единства биологического, социального и психического. Иначе рассмотрение покинет область собственно человеческой сферы и примкнет либо к естественно-научным и биологическим исследованиям, имеющим свою частную научную цель, либо к культурологии, отвлекающейся от непосредственно действующего человека.

Основные определяющие особенности человека, которые отличают его от мира животных, очевидно, являются психосоциальными. Это мышление, язык, сознание, память, разум, воля, характер. Однако многие проблемы, связанные с изучением человека, лежат в плоскости естественно-научных дисциплин. Так, происхождение человека исследует общая биология. Строение (морфология) и функционирование (физиология) различных органов человека изучаются в рамках антропологии. Для изучения высшей нервной деятельности, в том числе и поведенческих особенностей — эмоций, творчества, работоспособности, — широко используются физико-химические подходы кибернетики, теории информации и т. д.

Рассмотрим сначала биологические особенности человека: они включают происхождение человека и физиологию, а затем психофизиологические особенности — здоровье, эмоции, творчество, работоспособность.

Происхождение человека

Бурное развитие антропология — наука о человеке (от греч. *ánthrōpos* — “человек”) — получила во второй половине XIX в. после создания теории эволюции Ч. Дарвина. Эрнст Геккель (1834–1919 гг.) выдвинул гипотезу о существовании в прошлом промежуточного между обезьяной и человеком вида, который он назвал питекантропом (буквально “обезьяночеловек”). Он же предположил, что предками человека были не современные обезьяны, а дриопитеки (“древесные обезьяны”), которые жили в середине третичного периода (70 млн лет назад). От них одна линия эволюции пошла к шимпанзе и гориллам, другая — к человеку. Около 20 млн лет назад под влиянием похолодания джунгли отступили, и одной из ветвей дриопитеков

пришлось спуститься с деревьев и перейти к прямохождению (так называемые “рамапитеки”, останки которых найдены в Индии и названы в честь бога Рамы).

Останки австралопитека впервые были найдены в Африке в 1924 г. Объем мозга австралопитека не превышал объема мозга человекообразных обезьян, но он был способен к созданию орудий труда. Австралопитеки жили около 3 млн лет назад.

В 1961 г. английский археолог Луис Лиси (1903–1972 гг.) обнаружил в Восточной Африке останки “человека умелого” возрастом около 2 млн лет; объем его мозга составлял 640 см³. В этих же слоях были обнаружены орудия труда из расколотой заостренной речной гальки, которые он, как предполагают, изготавливал. Позже на озере Туркана в Кении были найдены останки существ того же типа. Наличие изготовленных орудий труда (если по этому факту судить о становлении человека) позволило существенно увеличить его возраст.

После этого укрепилось мнение, что именно в Восточной Африке около 2 млн лет назад произошло разделение человека и человекообразных обезьян, т. е. разошлись эволюционные линии человека и шимпанзе. Эти выводы подтверждены измерениями по так называемым “молекулярным часам”. Скорость изменения генов за счет точечных мутаций устойчива на протяжении долгих периодов времени, и ее можно использовать для датировки отхождения данной эволюционной ветви от общего ствола.

Что было причиной появления человека именно в Восточной Африке? Там имеют место выходы урановых пород и существует повышенная радиация. Последняя, как доказано генетикой, вызывает мутации. Таким образом, здесь эволюционные изменения могли протекать более быстрыми темпами. Возникший вид, физически более слабый, чем окружение, чтобы выжить, должен был начать изготавливать орудия труда, вести общественный образ жизни и развить разум как мощный инструмент выживания существа, не обладающего достаточными естественными органами защиты.

Останки питекантропа возрастом около 500 тыс. лет были обнаружены в 1890–1892 гг. Эженом Дюбуа (1858–1940 гг.) на

острове Ява. Питекантроп имел рост более 150 см, объем мозга примерно 900 см³.

В 20-е гг. XX в. в Китае был найден синатроп (“китайский человек”) с близким к питекантропу объемом мозга. Он уже использовал огонь и посуду.

В 1856 г. в долине Неандерталь в Германии обнаружили останки существа, жившего 300–35 тыс. лет назад, названного неандертальцем. Он имел объем мозга, близкий к современному человеку, но покатый лоб, низкую черепную коробку; жил в пещерах, охотясь на мамонтов. У неандертальцев впервые обнаружены захоронения трупов.

Наконец, в гроте Кро-Маньон во Франции в 1868 г. были найдены останки существа, близкого по облику к современному человеку, имевшему рост 180 см, объем черепа 1800 см³ и жившему от 40 до 15 тыс. лет назад. Это и есть “человек разумный”. В ту же эпоху появились расовые различия. У изолированных групп складывались особые признаки (цвет кожи и волос, форма лица и т. д.).

Итак, линия эволюции человека выстраивается следующим образом: австралопитек, “человек умелый”, “человек прямоходящий” (питекантроп и синатроп), неандерталец, “человек разумный” (кроманьонец). После кроманьонца человек не изменялся генетически, тогда как его социальная эволюция продолжалась.

Сходство человека и животных определяется, во-первых, вещественным составом и строением. Человек состоит из тех же белков и нуклеиновых кислот, что и животные, и многие структуры и функции нашего тела такие же, как и у животных. Чем выше на эволюционной ступени стоит животное, тем ближе его сходство с человеком. Во-вторых, человеческий зародыш проходит в своем развитии те же стадии, которые прошла эволюция живого. И, в-третьих, у человека имеются рудиментарные органы, которые выполняли важные функции у животных и сохранились у человека, хотя не нужны ему.

Однако и отличия человека от животных фундаментальны. К ним прежде всего относится разум. Изучение высших живот-

ных показало, что они обладают многим из того, на что раньше считались способными только люди. Эксперименты с обезьянами обнаружили, что они могут понимать слова, общаться с помощью компьютера о своих желаниях. Но чем не обладают самые высшие животные, так это способностью к понятийному мышлению, т. е. к формированию отвлеченных, абстрактных представлений о предметах, в которых обобщены основные свойства конкретных вещей.

Этология (дисциплина зоологии, изучающая поведение животных) получает все больше данных о том, что в поведении человека и животных много общего. Животные испытывают чувства радости, горя, тоски, вины и т. п.; у них есть любопытство, внимание, память, воображение. Но что хотя животные имеют очень сложные формы поведения и создают изумительные произведения (например, паутина, которую тклет паук), человек отличается от всех животных тем, что до начала работы имеет план, проект, модель постройки. Благодаря способности к понятийному мышлению человек сознает, что он делает.

Другим важным отличием является то, что человек обладает речью. У животных может быть очень развита система общения с помощью сигналов. Но только у человека есть то, что И. П. Павлов (1849–1936 гг.) назвал второй сигнальной системой (в отличие от первой — у животных), — общение с помощью слов. Этим человек отличается от других общественных животных.

Способность к труду — еще одно фундаментальное отличие человека от животных. Конечно, все животные что-то могут делать, а высшие животные способны к сложным видам деятельности. Обезьяны, например, используют палки в виде орудий, чтобы доставать плоды. Но только человек способен изготовить, творить орудия труда. С этим связаны утверждения, что животные приспосабливаются к окружающей среде, а человек преобразует ее, и что, в конечном счете, труд создал человека.

Здоровье и эмоции

Здоровье и эмоции человека во многом связаны с эволюционно-экологическими основами его психофизической дея-

тельности. Исследования показали, что в современной популяции людей формируются и новые варианты гено- и фенотипов. Морфотипы, которые в прежнее время развивались в соответствии с различными, относительно постоянными природно-экологическими и социальными условиями, теряют свои преимущества. Ритмы жизни, урбанизация, миграция, современные биосферно-ноосферные экологические изменения в целом предъявляют к людям новые требования. Формируются генофенотипические свойства, которые наиболее адекватно отвечают современным психофизиологическим, социальным потребностям жизни.

Более ста лет назад выдающийся французский биолог и медик Клод Бернар (1813–1878 гг.) выдвинул идею единства здоровья и болезни и, по существу, обосновал учение о гомеостазе. К мысли о гомеостазе он пришел на основе опыта медицины и собственных экспериментальных наблюдений. В лекциях о жизни животных и растений в 1878 г. Бернар обобщил этот свод данных. Утверждая единство здоровья и болезни, Бернар писал: “Физиология болезней, конечно, включает в себе процессы, которые могут быть присущи им специально, но их законы абсолютно тождественны законам, управляющим функциями жизни в здоровом состоянии”.

Таким образом, учение о гомеостазе основано на убеждении в единстве здоровья и болезни. Поддержание внутренней среды как условие жизни — таков сегодня принятый большинством ученых принцип общей патологии.

В чем же основное противоречие и единство феноменов здоровья и болезни? Во-первых, человеческий организм, как и все части живого вещества, целенаправлен. Каждый индивид социально-биологически целенаправлен по двум программам: продолжению рода и социально-культурной активности. В экстремальных условиях возможны “отказы”, минимизация психофизиологических функций, что субъективно и объективно проявляется в дискомфорте, в таких состояниях, которые сам индивид может причислить к категории патологии и болезни.

Во-вторых, если индивид имеет внутреннюю психоэмоциональную установку на здоровье (в его обычном, житейском общепринятом понимании) как высшую ценность и цель жизни, то, как правило, этот индивид избегает трудностей, высокого риска, напряженного поиска, борьбы. Восприятие состояний здоровья и болезни у таких людей будет иным, нежели у тех, кто расценивает свою жизнь как путь достижения высших социальных целей, а само здоровье в таком движении жизни — как средство. Последним свойственны пассионарность, подвижность, творческий порыв, неистовость поиска, стремление к достижению высших целей.

Такое направленное психоэмоциональное напряжение, реакцию принято обозначать как “реакцию Прометея”. “Реакция Прометея” характеризуется изменением порогов сенсорных систем вследствие изменения психоэмоциональной установки так, что раздражители, ранее болезненные, патогенные, оказываются нейтральными, их действие затормаживается. Примеры таких реакций многочисленны.

Есть интересные примеры внушенной (наяву или под гипнозом) физической или психоэмоциональной пониженной чувствительности и, наоборот, внушенных (самовнушенных) патологических состояний. В целом же изменение уровней чувствительности, реактивности организма постоянно имеет место у каждого человека на протяжении его жизни.

В экстремальных условиях (в случае перегрузки, травмы, инфекции, интоксикации и др.) видовая аварийная программа реализуется в том, что существенно (иногда до возможного минимума) сокращается внешняя деятельность и все резервы направляются на развитие новых внутренних функционально-морфологических механизмов сохранения жизнеспособности, выживания, выздоровления. Организм перестраивает свою жизнедеятельность в максимально закрытом режиме. Вся эта перестройка на основе видовой аварийно-адаптивной программы для данного индивида, по существу, необходимое его вовлечение в процесс эволюционно-видового выживания (адаптации вида).

Естественно, что относительно обычной, здоровой жизнедеятельности такая перестройка оценивается как нечто внешнее, как болезнь. Ясно, что это — новое качество жизнедеятельности индивида на основе видовой адаптивной программы. Как утверждал С. П. Боткин (1832–1889 гг.) в своих лекциях: “Человек мало-помалу приспособился к различным колебаниям внешних условий, передавая своему потомству постоянно нарастающую способность приспособления, которая в значительной степени увеличивалась с помощью знания и искусства, приобретаемых путем наблюдения и ответа: реакция организма на вредодействующие на него влияния внешней среды и составляет сущность больной жизни”.

При анализе специфики здоровья в указанном отношении следует четко разграничивать здоровье отдельного человека и здоровье популяции. Здоровье индивида — это динамический процесс сохранения и развития его социально-природных, биологических, физиологических и психических функций, социально-трудовой, социокультурной и творческой активности при максимальной продолжительности жизненного цикла.

Здоровье популяции представляет собой процесс длительного социально-природного, социально-исторического и социокультурного развития жизнеспособности и трудоспособности человеческого коллектива в ряду поколений. Это развитие предполагает совершенствование психофизиологических, социокультурных и творческих возможностей людей.

Здоровье популяции и индивида является необходимой предпосылкой интеллектуального здоровья человека, полноценной реализации его творческих возможностей. И наоборот, когда социально-исторические условия препятствуют полноценному развитию интеллектуального здоровья, происходит снижение общего уровня здоровья популяции, выраженное в показателях заболеваемости и смертности, росте хронической патологии и т. д.

Очевидно, что все хотят иметь хорошее здоровье. Всемирная организация здравоохранения, основанная по инициативе ООН, предложила краткую формулировку термина “здоровье”.

Здоровье — это состояние полного физического, умственного и социального благосостояния.

Когда организм переживает состояние стресса, все его жизненно важные системы подвергаются перенапряжению, будь то сердце, почки, желудок или другие органы. Они выходят из строя в зависимости от того, какой из них наиболее уязвим у каждого конкретного человека.

Значительное количество пациентов в возрасте до 60 лет, страдающих сердечными приступами, склонно к соперничеству и постоянной спешке. Другими словами, их образ жизни таков, что они находятся в постоянном состоянии стресса. Многие полагают, что после того, как они подверглись действию чрезвычайных раздражителей, отдых может им вернуть прежнее состояние и силы. Это неверно. Эксперименты на животных ясно показали, что каждое такое воздействие оставляет неизгладимый след, так как израсходованные адаптационные резервы не могут быть восстановлены.

Попытка избежать всех форм стресса — не выход из положения. Исследования показали, что сокращение активности также ведет к сокращению жизни.

При многих заболеваниях имеется взаимосвязь между эмоциями и состоянием организма. Многие больные, независимо от того, знали они об этом или нет, имели предшествующие заболевания эмоциональные переживания. Эмоциональные стрессы влияют на организм многими путями.

Следует стараться избегать состояний, ведущих к эмоциональному перенапряжению. Подобно тому, как мрачные мысли могут вывести из строя, так светлые и добрые помогут сохранить наилучшее здоровье.

К заболеванию могут привести: горе, подавленность, тревога, страх, разочарование, ревность. Хорошему здоровью способствуют: чувство удовлетворения, любовь, сознание полезности, правоты, спокойствие, бодрость, благодарность. Свежий воздух, солнечный свет, умеренность, отдых, физические упражнения, вода и правильное питание — необходимые факторы здоровья и долголетия.

Большую роль в нашей жизни играет вода. На 65% человеческий организм состоит из воды. Мышцы содержат 75% воды, и даже в костях ее больше 20%. Каждая клетка нуждается в жидкости. Все химические и электрические процессы в организме совершаются в жидкой среде.

Для нормального функционирования наш организм нуждается в определенном количестве поваренной соли. Однако чрезмерное употребление соли может привести к серьезным проблемам, в частности, к повышению кровяного давления.

Исследования показали, что избыточное потребление сахара значительно повышает уровень холестерина в крови, а это может привести к заболеваниям сердца. Так как мозгу для обмена веществ необходима глюкоза, всякое нарушение содержания сахара в кровяном русле приводит к нарушению работы клеток мозга.

Важным вопросом является диета. Потребление чрезмерного количества животных жиров ведет к увеличению содержания в крови холестерина, одновременно повышается свертываемость крови. Это особенно опасно для больных атеросклерозом.

Академик Н. М. Амосов (1913–2002 гг.) ввел новый медицинский термин “количество здоровья” для обозначения меры резервов организма. Есть скрытые резервы сердца, почек, печени. Выявляются они с помощью различных нагрузочных проб. Здоровье — это количество резервов в организме, максимальная производительность органов при сохранении качественных пределов их функций. По Амосову, секрет долголетия кроется в пяти условиях жизни: закаленное тело; здоровые нервы и хороший характер, правильное питание; климат; ежедневный труд.

Правильный образ жизни И. И. Мечников (1845–1916 гг.) называл ортобиозом (от греч. *orthós* — “жизнь” и *bíos* — “прямой”).

Восемь важнейших условий ортобиоза — какими они представляются с точки зрения современной науки:

1. Прежде всего, следует снова назвать труд, являющийся важнейшим условием физиологического благополучия.

2. Важнейшим условием ортобиоза является нормальный сон. Средством восстановления сил служит в первую очередь нормальный сон и состояние сна.

3. Положительные эмоции обеспечивают доброжелательное отношение к другим людям, юмор, оптимизм. Надо фиксировать внимание на хорошем и уметь радоваться ему. Положительные эмоции уменьшают болевые ощущения. Положительные эмоции — универсальный исцелитель от многих недугов.

4. Среди условий правильного образа жизни весьма существенным является рациональное питание. Рациональным оно должно быть по качеству, по количеству и по режиму.

5. Избегать алкоголя и никотина — важное условие ортобиоза. Алкоголь — яд для всех клеток тела. Неблагоприятное действие оказывает алкоголизм родителей на потомство, повышая число детей с психохимическими и физическими дефектами. От алкоголя тяжело страдает печень — она перестает должным образом выполнять свою барьерную, защитную роль. Никотин — нервно-сосудистый яд. Он усиливает атеросклероз. От инфаркта миокарда курящие умирают в 11 раз, от рака легких — в 13 раз чаще, чем некурящие.

6. Соблюдение режима, т. е. выполнение определенной деятельности организма в определенное время, приводит к образованию в мозгу условных рефлексов. В результате привычное время еды настраивает организм на принятие и переваривании пищи, привычное время для работы — на соответствующую форму деятельности. Мозгу не приходится каждый раз настраиваться на новую деятельность — само время готовит его к данной работе. В силу этого, во-первых, мозг экономит ресурсы, во-вторых, работа протекает лучше. Понятно, что человек, соблюдающий режим, имеет больше шансов на здоровье и долголетие.

7. Закаливание организма — важное условие ортобиоза. Под закаливанием понимают процесс приспособления организма к неблагоприятным внешним воздействиям, причем приспособление это достигается путем использования естественных сил природы — солнечных лучей, воздуха, воды.

8. Наконец, физические упражнения, достаточный объем двигательной активности — это важнейший элемент физической культуры и правильного образа жизни.

Творчество

Творчество как процесс создания чего-либо нового часто предполагает, что человек может испытывать недостаточность информации, знаний, умений для достижения цели и решения той или иной проблемы, и именно поэтому ему необходимо создать новые знания, умения, новые объекты и произведения. Эмоции, вдохновение, воображение помогают это сделать. Огромную роль эмоций в творческом процессе признавал и В. И. Вернадский. В своем труде “Научная мысль как планетарное явление” он писал: “Говорят: одним разумом можно все постигнуть. Не верьте!.. Одна нить — разум, другая — чувство, и всегда они друг с другом соприкасаются в творчестве”.

Научное и техническое творчество проявляется в поиске и нахождении принципиально нового решения научной или технической проблемы, причем структура мыслительного процесса решения проблемы сложна, но неизменно успешу, “озарению”, нахождению нового решения способствуют эмоциональная увлеченность проблемой, вера в успех, положительная стимуляция.

Выделяют четыре стадии решения проблемы: подготовку, созревание решения, вдохновение, проверку найденного решения.

Структура мыслительного процесса решения проблемы следующая:

1. Мотивация (желание решить проблему).
2. Анализ проблемы (что известно, что требуется найти).
3. Поиск решения на основе следующих операций:
 - 3.1. Поиск решения на основе одного известного алгоритма (репродуктивное решение).
 - 3.2. Поиск решения на основе выбора оптимального варианта из множества известных алгоритмов.

3.3. Решение на основе комбинации отдельных звеньев из различных алгоритмов.

3.4. Поиск принципиально нового решения (творческое мышление):

3.4.1. На основе углубленных логических рассуждений (анализ, сравнение, синтез, классификация, умозаключение и т. п.).

3.4.2. На основе использования аналогий.

3.4.3. На основе использования эвристических приемов.

3.4.4. На основе метода проб и ошибок.

3.5. В случае неудачи — переключение на другую деятельность (период “инкубационного отдыха” — созревание идей), потом озарение, вдохновение, осознание решения некоторой проблемы (интуитивное мышление).

Факторы, способствующие озарению:

— высокая увлеченность проблемой;

— вера в успех, в возможность решения проблемы;

— высокая информированность о проблеме, накопленный опыт;

— высокая ассоциативная деятельность мозга (во сне, при высокой температуре, лихорадке, при эмоционально положительной стимуляции).

4. Логическое обоснование найденной идеи решения, логическое доказательство правильности решения.

5. Реализация решения.

6. Проверка найденного решения.

7. Коррекция (в случае необходимости — возврат к этапу 2).

Мыслительная деятельность реализуется как на уровне сознания, так и на уровне бессознательного, характеризуется сложными переходами и взаимодействиями этих уровней. В результате успешного (целенаправленного) действия достигается результат, соответствующий предварительно поставленной цели, и результат, который не был предусмотрен; он является по отношению к цели побочным (побочный продукт действия).

При исследовании решения творческих задач наблюдается следующая закономерность: вначале используются первичные,

автоматизированные способы решения, причем первичные способы действия реализуются до тех пор, пока становится ясно, что данным способом задачу не решить.

На следующем этапе происходит осмысление неудач (средний уровень), осознается причина этих неудач и именно то, что средства не соответствуют задаче, формирует критическое отношение к собственным средствам и способам действия. В результате к условиям задачи применяется более широкий круг средств, происходит выработка программ “поисковой доминанты”, потом интуитивное решение, “решение в принципе”, и затем на последних этапах — логическое обоснование и формализация решения.

Для активации мышления можно применять специальные формы организации мыслительного процесса, например, “мозговой штурм”. Он предназначен для продуцирования идей и решений при работе в группе. Основные правила проведения “мозгового штурма” следующие:

1. Группа состоит из 7–10 человек, желательно различной профессиональной направленности (для уменьшения стереотипизации подходов), в группе имеется лишь несколько специалистов по рассматриваемой проблеме.

2. Запрет критики — чужую идею нельзя критиковать, можно лишь похвалить, развить чужую идею или предложить свою.

3. Участники должны быть в состоянии релаксации, т. е. психической и мышечной расслабленности, комфорта.

4. Все высказываемые идеи фиксируются (на магнитофоне, в стенографических записях) без указания авторства.

5. Собранные в результате обсуждения идеи передаются группе экспертов-специалистов, занимающихся данной проблемой, для отбора наиболее ценных идей. Как правило, таких идей оказывается примерно 10 %. Участников в состав экспертов не включают.

Практика показала, что эффективность таких “мозговых штурмов” очень высокая. Так, в одной из американских фирм на 300 заседаниях “мозгового штурма” предложили 15 тыс. идей, из которых 1,5 тыс. были реализованы.

“Мозговой штурм”, который ведет группа, постепенно накапливающая опыт решения различных задач, положен в основу методики синектики. При “синектическом штурме” предусмотрено обязательное выполнение четырех специальных приемов, основанных на аналогии: прямой (подумайте, как решаются задачи, похожие на данную); личной (попробуйте войти в образ данного в задаче объекта и рассуждать с этой точки зрения); символической (дайте в двух словах образное определение сути задачи); фантастической (представьте, как бы эту задачу решали сказочные волшебники).

Еще один способ активизации поиска — метод фокальных объектов. Он состоит в том, что признаки нескольких случайно выбранных объектов переносят на рассматриваемый (фокальный, находящийся в фокусе внимания) объект, в результате чего получаются необычные сочетания, позволяющие преодолевать психологическую инерцию и косность. Так, если случайным объектом взят “тигр”, а фокальным — “карандаш”, то получаются сочетания типа “полосатый карандаш”, “клыкастый карандаш” и т. д. Рассматривая эти сочетания и развивая их, можно прийти к оригинальным идеям.

Метод морфологического анализа заключается в том, что в начале выделяют главные характеристики объекта — оси, а затем по каждой из них записывают всевозможные варианты — элементы.

Способствует интенсификации поиска и метод контрольных вопросов, который предусматривает применение для этой цели списка наводящих вопросов, например: “А если сделать наоборот? А если изменить форму объекта? А если взять другой материал? А если уменьшить или увеличить объект?” и т. д.

Все рассмотренные методы активизации творческих мыслительных возможностей предусматривают целенаправленную стимуляцию ассоциативных образов (воображения).

Научное творчество и особенно творчество в искусстве опирается на воображение, которое, в свою очередь, неразрывно связано с эмоциями и чувствами человека. Воображение — психический процесс, заключающийся в создании новых образов

(представлений) путем переработки материала восприятий и полученных представлений.

Воображение как своеобразная форма отражения действительности позволяет мысленно отойти за пределы непосредственно воспринимаемого, способствует предвосхищению будущего, “оживляет” то, что было ранее.

Воображение может быть пассивным (сновидения, грезы) и активным, которое, в свою очередь, подразделяют на воссоздающее (создание образа предмета по его описанию) и творческое (создание новых образов, требующих отбора материалов в соответствии с замыслом). Мечта — также вид творческого воображения, связанного с осознанием желаемого будущего.

Работоспособность

Обычно считают, что работоспособность — это способность к выполнению работы. С физиологической точки зрения работоспособность определяет возможности организма по поддержанию структуры и энергозапасов на заданном уровне при выполнении работы. В соответствии с двумя основными типами работы — физической и умственной — различают физическую и умственную работоспособность.

Говоря о работоспособности, выделяют общую (потенциальную, максимально возможную работоспособность при мобилизации всех резервов организма) и фактическую работоспособность, уровень которой всегда ниже. Фактическая работоспособность зависит от текущего уровня здоровья, самочувствия человека, а также от типологических свойств нервной системы, индивидуальных особенностей функционирования психических процессов (памяти, мышления, внимания, восприятия), от оценки человеком значимости и целесообразности мобилизации определенных ресурсов организма для выполнения определенной деятельности на заданном уровне надежности и в течение заданного времени при условии нормального восстановления расходуемых ресурсов организма.

В процессе выполнения работы человек проходит через различные фазы работоспособности. Фаза мобилизации харак-

теризуется предстартовым состоянием. При фазе вработываемости могут быть сбои, ошибки в работе, организм реагирует на данную величину нагрузки с большей силой, чем это необходимо. Постепенно происходит приспособление организма к наиболее экономному, оптимальному режиму выполнения данной конкретной работы.

Фаза оптимальной работоспособности (или фаза компенсации) характеризуется оптимальным, экономным режимом работы организма и хорошими, стабильными результатами работы, максимальной производительностью и эффективностью труда. В этой фазе несчастные случаи крайне редки и происходят в основном по причине объективных экстремальных факторов или неполадок оборудования.

Затем, в фазе неустойчивости компенсации (или субкомпенсации), происходит своеобразная перестройка организма: необходимый уровень работы поддерживается за счет менее важных функций. Эффективность труда поддерживается уже за счет дополнительных физиологических процессов, менее выгодных энергетически и функционально. Например, в сердечно-сосудистой системе обеспечение необходимого кровоснабжения органов осуществляется уже не за счет увеличения силы сердечных сокращений, а за счет возрастания их частоты.

Перед окончанием работы, при наличии достаточно сильной мотивации к деятельности, может наблюдаться также фаза “конечного порыва”.

При выходе за пределы фактической работоспособности, во время работы в сложных и экстремальных условиях после фазы неустойчивой компенсации наступает фаза декомпенсации, сопровождаемая прогрессирующим снижением производительности труда, появлением ошибок, выраженными вегетативными нарушениями: учащением дыхания, пульса, нарушением точности координации.

Существует ли изменение работоспособности в течение продолжительных периодов времени: месяца, года или нескольких лет? Сезонные колебания работоспособности известны давно. В переходное время года, особенно весной, у многих людей по-

являются вялость, утомляемость, снижается интерес к работе. Это состояние называют весенним утомлением.

В последние годы обнаружены ритмы функционирования нервной, мышечной и сердечно-сосудистой систем продолжительностью 5–16 дней. Их выраженность зависит от тяжести труда. У людей тяжелого физического труда они равны 5–8 дням, у работников умственного труда — 8–16 дням.

А как влияет на работоспособность возраст? Установлено, что в 18–29 лет у человека наблюдается самая высокая интенсивность интеллектуальных и логических процессов. К 30 годам она снижается на 4 %, к 40 — на 13, к 50 — на 20, а в возрасте 60 лет — на 25 %.

Длительное время ученые считали утомление отрицательным явлением, неким промежуточным состоянием между здоровьем и болезнью. Но были проведены убедительные исследования, показавшие, что утомление является естественным побудителем процессов восстановления работоспособности. Здесь действует закон биологической обратной связи. Если бы организм не утомлялся, то не происходили бы и восстановительные процессы. Чем больше утомление (конечно, до определенного предела), тем сильнее стимуляция восстановления и тем выше уровень последующей работоспособности. Важно и то, что в период восстановления происходит “текущий ремонт” органов и тканей, усиливаются процессы регенерации. Все это говорит о том, что утомление не разрушает организм, а поддерживает его.

После прекращения работы наступает фаза восстановления физиологических и психологических ресурсов организма. Однако не всегда восстановительные процессы проходят нормально и быстро. После сильно выраженного утомления вследствие воздействия экстремальных факторов организм не успевает отдохнуть, восстановить силы за обычные 6–8 часов ночного сна. Порой требуются дни, недели для восстановления ресурсов организма. В случае неполного восстановительного периода сохраняются остаточные явления утомления, которые могут накапливаться, приводить к хроническому переутомлению

различной степени выраженности. В состоянии переутомления длительность фазы оптимальной работоспособности резко сокращается или может отсутствовать полностью, и вся работа проходит в фазе декомпенсации.

В состоянии хронического переутомления снижается умственная работоспособность: трудно сосредоточиться, временами наступают забывчивость, замедленность и порой — неадекватность мышления. Все это повышает опасность несчастных случаев.

Психогигиенические мероприятия, направленные на снятие состояния переутомления, зависят от степени переутомления.

Для начинающегося переутомления эти мероприятия включают упорядочение отдыха, сна, культурные развлечения. При выраженном переутомлении необходим организованный отдых. При тяжелом переутомлении требуется уже лечение.

Вероятность возникновения несчастного случая повышается, когда человек находится при монотонной работе и т. п. в состоянии монотонии вследствие отсутствия значимых информационных сигналов (сенсорный голод) либо вследствие однообразного повторения похожих раздражителей. При монотонии возникает ощущение однообразности, скуки, оцепенелости, заторможенности, “засыпания с открытыми глазами”, отключение от окружающей обстановки. В результате человек не в состоянии своевременно заметить и адекватно отреагировать на внезапно возникший раздражитель, что в конечном счете и приводит к ошибкам в действиях, к несчастным случаям. Исследования показали, что к ситуациям монотонии более устойчивы люди со слабой нервной системой, они дольше сохраняют бдительность по сравнению с лицами, обладающими сильной нервной системой.

7.2. Биоэтика

Сравнительно недавно возникла еще одна из многих междисциплинарных наук — биоэтика. Причем в данном случае речь идет о науке, пограничной между естественными и гума-

нитарными знаниями. Предпосылки создания биоэтики, ее цели и задачи будут рассмотрены ниже.

Еще 150 лет назад в биосфере сложилось определенное равновесие. Человек использовал относительно небольшую часть ресурсов природы, перерабатывал ее для обеспечения своих потребностей и часть их снова возвращал в окружающую среду. Тогда природа испытывала небольшую нагрузку со стороны человечества и была в состоянии самовосстанавливаться. В это время для изучения проблем взаимодействия животного мира и мира растений между собой и со средой обитания возникла новая наука — экология.

Постепенно, в связи с развитием производства и началом использования природных ресурсов во всевозрастающих масштабах, сложившееся равновесие стало постепенно разрушаться, и изменения в природе происходили таким образом, что качество среды обитания стало резко ухудшаться. Особенно интенсивно этот процесс происходит со второй половины прошлого века. К настоящему времени все три сферы обитания животных и растений — атмосфера, гидросфера и литосфера — оказались сильно загрязнены вредными для живых организмов веществами.

Причем в последние десятилетия ухудшение среды обитания живых организмов (в том числе и человека) происходит со все возрастающей скоростью. Указанный дисбаланс состояния биосферы привел к тому, что экология стала в большей мере заниматься выяснением причин ухудшения качества окружающей среды и в основном превратилась в науку изучения окружающей среды и выработки оптимальных условий природопользования. И сегодня со словом “экология” большинство связывает вопросы состояния окружающей среды и проведение природоохранных мероприятий.

Итак, налицо ситуация, когда развитие цивилизации приходит в противоречие с возможностью выживания живых организмов в существенно ухудшающейся среде обитания.

Другим противоречием современной цивилизации является, с одной стороны, все убыстряющееся развитие естественнонаучных направлений исследования природы в физике, химии,

биологии и т. д., а с другой стороны, возможности использования достижений этих наук для уничтожения всего живого при применении ядерного, химического или бактериологического оружия.

Новым направлением биологии является генная инженерия, возможность клонирования живых организмов. С одной стороны, это исключительно перспективное направление исследований для улучшения существующих в природе живых организмов путем, выведения пород скота, видов растений, возможность искусственного создания банка человеческих органов для замены, трансплантации и других медицинских целей. А с другой стороны, это может привести к созданию различного рода мутантов с непредсказуемыми свойствами, к непредсказуемым последствиям для живой материи.

Можно указать также на противоречия, связанные с развитием и превращением биосферы в техносферу. Происходит создание новых высокосоввершенных роботов, способных заменить труд человека на многих производственных операциях, компьютеров с искусственным интеллектом, способных обыграть в шахматы выдающихся шахматистов. Развитие этих направлений, в том числе самообучающихся систем, может привести к не контролируемым человеком результатам.

Перечисленных фактов уже достаточно, чтобы сложился пессимистический вариант дальнейшего развития цивилизации с возможностью самоуничтожения биосферы в обозримом будущем. Некоторые ученые усматривают в таком исходе некоторый общий принцип, суть которого сводится к тому, что процесс биологического развития, подобного земному, проходил во Вселенной многократно и заканчивался самоуничтожением цивилизаций.

Эта точка зрения основывается на следующих соображениях. Эволюция жизни сопровождается созданием, накоплением и передачей информации. Наиболее фундаментальным типом биологической информации является информация генетическая. Ее носитель — молекула ДНК. В сущности, эволюция жизни — эволюция информационной молекулы.

Информация получила способность накапливаться и передаваться по наследству небиологическим путем. Возник способ эволюции, параллельный биологическому. Эволюция информации более не нуждается в жизни с ее медленным механизмом эволюции. Биосфера передала эстафетную палочку эволюции антропогенному миру.

В конечном счете человек окажется, и в значительной степени уже оказался, в искусственном мире. Он выходит из равновесия с живой природой, престаёт быть частью биологического мира. Подобно созревшему плоду человек отрывается от древа жизни. Он отчуждается от жизни с ее законами эволюции.

Ни одно живое существо не может выжить вне живой природы — кроме человека. Он может уничтожить все живое и продолжать существовать. Он не зависит от кислорода атмосферы, вырабатываемого растениями, так как может добыть его электролизом. Ему не нужно мясо животных, так как он может синтезировать любой набор аминокислот. Если человек еще и не достиг этого состояния сейчас, то, во всяком случае, приближается к нему.

С этого момента существование жизни на Земле перестанет быть условием его собственного существования. Он может сохранить живое для забавы и для развлечения в виде ландшафтных заповедников и биологических парков. Но скорее всего живое не сохранится в неволе у человека и, лишённое свободного саморегулирования, исчезнет, если только не успеет адаптироваться к человеку, но уже не как к биологическому виду, а как к чужеродной стихии.

В антропогенном мире удовлетворение биологических потребностей человека целиком зависит от производства. В отличие от биологического мира, в антропогенном мире производство — необходимый элемент гомеостаза.

Биологически существование живого организма сводится к исполнению трех функций:

1) поддержания жизни, т. е. удовлетворения потребности в пище, физиологических отправлениях, восстановлению сил (сон, отдых);

2) приспособления к внешней среде: пассивного (гнездо, нора, средства мимикрии и т. п. у животных, кров, одежда — у человека) и активного (защита от посягательств других особей);

3) воспроизводства себе подобных.

Природа снабдила все живое средствами для исполнения этих функций, сделав, однако, так, что эти средства не являются абсолютными. Относительность и ограниченность их в отношении каждого отдельного организма делают ограниченным время жизни индивидуума, что является условием обновления, совершенствования и развития живого как целого.

Неизбежно возникает вопрос: нужны ли вообще человеку в антропогенном мире его биологические потребности? Ведь логика их была продиктована смыслом жизни. Вне биологической жизни само их назначение, механизм осуществления и относительный характер средств, отпущенных живым существам для удовлетворения потребностей, — все это теряет изначальный смысл — служить средством отбора и эволюции.

Поэтому следующей ступенью развития технологической цивилизации будет устранение биологических функций человека. Нетрудно предвидеть возможность радикального изменения механизма питания и деторождения, последовательной замены биогенных органов техногенными, постепенное возникновение биотехногенного гибрида. Но решающим и, может быть, роковым шагом будет устранение смертности.

Конечность существования индивидуума — непереносимое условие эволюции жизни. Но это и условие устойчивости любого развивающегося множества. Преодолеет ли техногенная цивилизация этот опасный рубеж или ему суждено стать завершающим в развитии оторвавшегося от древа жизни плода?

Будущее антропогенного мира находится за пределами возможности предвидения. Вечен ли разум? Вездесущ ли он во Вселенной? Или это краткий миг в истории Вселенной, и жизнь гаснет, взобравшись на эту вершину? Нигде в окрестной Вселенной мы не наблюдаем следов разумной жизни. Около 4,5 млрд лет заняла на Земле эволюция, приведшая к появлению разума. Возможно, миллиарды лет — это тот масштаб времени, который

требуется в любых условиях и в любых мирах для достижения эволюцией подобного уровня организации.

Невозможно представить, что Земля — единственное место во Вселенной, где возникла разумная жизнь. Тогда ненаблюдаемость космического разума, вероятнее всего, связана с исторической краткостью его существования. Появляясь в разных точках Вселенной как результат эволюции, занимающей миллиарды лет, разумная жизнь, вероятно, длится недолго, в своей высшей фазе — может быть, лишь тысячелетия. В необъятном пространстве она вспыхивает и гаснет подобно искрам так, что одновременное существование даже нескольких искр в обозримой Вселенной маловероятно.

Для того чтобы предупредить развитие такого пессимистического сценария эволюции биосферы, в последние годы развивается новая наука — *биоэтика*, находящаяся на стыке естественно-научной дисциплины — биологии и гуманитарной — этики. Цель этой дисциплины — выработка этических, нравственных норм взаимодействия человека с миром природы, в том числе с миром живой природы.

В настоящее время формируется целый ряд основных принципов биоэтики. При этом исходными являются те, которые утверждают, что жизнь понимается как высшая ценность. Эти принципы включают следующее:

1. Гармонизацию системы “человек — биосфера”, выдвижение в качестве главной задачи создание оптимальных взаимоотношений между человеком и окружающей живой и неживой природой, создание совокупности правил и норм биоэтики для содружества всех стран планеты Земля.

2. Признание принципа единства жизни и этики, их взаимообусловленности. При этом жизнь — это высшее проявление упорядоченности и развития в природе, а этика — сила, организующая социальную сферу.

3. Выработка оптимальных программ в системе отношений “человек — медицина”.

Таким образом, под биологической этикой понимается применение правил и норм общечеловеческой морали, в которых осмысливаются проблемы долга, совести, чести, добра и зла.

Уже первая конференция ООН по охране окружающей среды, прошедшая в 1972 г., констатировала наличие глобального экологического кризиса всей биосферы. Сегодня налицо уже не локальные (региональные), а глобальные (всемирные) экологические проблемы: уничтожены тысячи видов растений и животных; в значительной степени истреблены леса и полезные ископаемые; Мировой океан истощен в своей флоре и фауне и перестает быть регулятором природных процессов; нарушены не только химический состав, но и физика атмосферы; изменилась структура человеческих заболеваний. Эти процессы нарастают. Выводы конференции: необходим глобальный переход от потребительского, технократического подхода к поиску гармонии с природой, к целенаправленным мерам по экологизации производства, к применению природосберегающих технологий и производств, к обязательности экологических экспертиз новых проектов на их безотходность и безвредность для природы и жизни во всех ее проявлениях.

Первоочередной проблемой стала угроза уничтожения, частично или полностью, тех или иных форм жизни на Земле, вызываемая деятельностью (по-видимому, недостаточно осмысляемой) политиков, ученых и исполнителей (в основном руководителей промышленных объектов) и прежде всего в области физики, химии и биологии.

Сейчас, когда бережное отношение к природе начинает приобретать особенно большое значение для жизни людей и успешного развития общества, становится важной разработка эколого-этического аспекта как в области теории, так и в практическом поведении людей. Здесь нельзя полагаться на стихийное формирование таких установок в поведении людей, как забота о земле, лесе, чистоте воздуха, растительном и животном мире. Требуется хорошо продуманная и организованная система экологического воспитания людей с самого раннего возраста и на протяжении всей жизни.

Опыт показывает, что небрежное отношение к природе и ее благам коренится не в каких-то объективных обстоятельствах (например, в недостатке средств), а в элементарном экологиче-

ском бескультурье, непонимании сложной взаимосвязанности природных явлений и, в частности, того, что малый ущерб, наносимый природе, постепенно накапливается из-за многократного повторения и приводит к резким качественным изменениям среды. Неведение относительно возможности таких качественных скачков и соответствующих отрицательных последствий таит в себе большую опасность.

Сегодня нам еще под силу найти компромисс между своими устремлениями и возможностями природы. Принимается немало мер по урегулированию взаимоотношений человека с природой. Многие уже разработано в этом направлении. Интенсивно развиваются энергосберегающие технологии. Это позволяет сжигать меньше топлива, а значит, выбрасывать в атмосферу меньше углерода.

Разум подсказывает, что необходимо как можно скорее прекратить дальнейшее разрушение природы, приступить к ее восстановлению в масштабах всей планеты.

Пока еще понимание того, что от взаимодействия людей с природой зависит их жизнь, не стало всеобщим. Это отчасти объясняется тем, что большинство землян не имеет информации о состоянии нашей планеты в целом, и мало кто задумывается о том, как он лично воздействует на всю экологическую систему.

Для защиты природы в глобальном масштабе предлагается создать международные законы природопользования, обязательные для всех стран. А значит, потребуются создать международный законодательный орган. Для взаимодействия людей с природой предстоит разработать целую систему налогов и штрафов. И, конечно же, создать систему оперативного контроля. В настоящее время поиск путей решения этих проблем ведется на государственном и международном уровнях.

Одной из очень важных проблем биоэтики является также проблема “человек — медицина”. Она включает, например, такие вопросы, как целесообразность поддержания жизни смертельно больного человека, допустимость использования человеком его “права на смерть”, проведение научных экспериментов над животными и людьми, наконец, целесообразность применения генетики для клонирования (копирования) животных и людей.

Формирование биоэтики обусловлено грандиозными изменениями в технологическом оснащении современной медицины, огромными сдвигами в медико-клинической практике, которые стали возможными благодаря успехам генной инженерии, трансплантологии, появлению оборудования для поддержания жизни пациента и накоплению соответствующих практических и теоретических знаний.

Все эти процессы обострили моральные проблемы, встающие перед врачом, перед родственниками больных. Существуют ли пределы оказания медицинской помощи и каковы они в поддержании жизни смертельно больного человека? С какого момента следует отсчитывать наступление смерти? Допустимы ли аборты? С какого момента зародыш можно считать живым существом? Вот лишь некоторые из тех вопросов, которые встают перед врачом, а также перед широкой общественностью на современном уровне развития медицинской науки.

Медицинская этика в эпоху биологической и социальной революций рассматривает громадное количество новых и трудных моральных вопросов: искусственное оплодотворение, “пилюли счастья”, смерть мозга и использование медицинских технологий в военных целях. В каждом случае основную роль при решении каждого вопроса будет играть дух моральной ответственности, который зависит от выбора соответствующей модели моральных отношений между сообществами профессионалов и непрофессионалов. Это и есть подлинное основание для медицинской этики в эпоху революционных преобразований.

Среди прав пациента первостепенное значение имеет право на информацию, необходимую для информированного согласия. Под информированным согласием понимается добровольное принятие пациентом курса лечения или терапевтической процедуры после предоставления врачом адекватной информации. Можно условно выделить основные элементы этого процесса: предоставление информации и получение согласия.

Предоставление информации включает в себя понятия добровольности и компетентности. Врачу вменяется в обязанность информировать пациента о характере и целях предлагаемого

ему лечения; связанном с ним существенном риске; возможных альтернативах данного вида лечения.

С этой точки зрения понятие альтернативы предложенного лечения является центральным в идее информированного согласия. Врач советует наиболее приемлемый с медицинской точки зрения вариант, но окончательное решение принимает пациент, исходя из своих нравственных ценностей. Таким образом, доктор относится к пациенту как к цели, а не как средству для достижения другой цели, пусть это будет даже здоровье.

Особое внимание при информировании уделяется также риску, связанному с лечением. Врач должен затронуть четыре аспекта риска: его характер, серьезность, вероятность его материализации и внезапность материализации. Но одновременно с этим встает вопрос, как (в каком объеме) информировать пациента. В последнее время большое внимание получает “субъективный стандарт” информирования, требующий, чтобы врачи, насколько возможно, приспособливали информацию к конкретным интересам отдельного пациента.

С точки зрения этики, “субъективный стандарт” является наиболее приемлемым, так как он опирается на принцип уважения автономии пациента, признает независимые информационные потребности и желания лица в процессе принятия непростых решений. Добровольное согласие — принципиально важный момент в процессе принятия медицинского решения. Добровольность информированного согласия подразумевает неприменение врачами принуждения, обмана, угроз и т. п. при принятии решений пациентом. Можно говорить в связи с этим о расширении сферы применения морали, моральных оценок и требований по отношению к медицинской практике. Правда, пусть жестокая, сегодня получает приоритет в медицине. Врачу вменяется в обязанность быть более честным со своими пациентами.

Под компетентностью в биоэтике понимается способность принимать решения. Лицо считается компетентным, если это лицо может принимать решения, основанные на рациональных мотивах.

Особенно актуальна проблема компетентности для психиатрии. Существуют две основные модели информированного согласия: событийная и процессуальная.

В событийной модели принятие решения означает событие в определенный момент времени. После оценки состояния пациента врач ставит диагноз и составляет рекомендуемый план лечения. Заключение и рекомендации врача предоставляются пациенту вместе с информацией о риске и преимуществах, а также о возможных альтернативах и их риске и преимуществах. Взвешивая полученную информацию, пациент обдумывает ситуацию и затем делает медицински приемлемый выбор, который наиболее соответствует его личным ценностям.

В противоположность событийной модели процессуальная модель информированного согласия основывается на идее о том, что принятие медицинского решения — длительный процесс, и обмен информацией должен идти в течение всего времени взаимодействия врача с пациентом. Лечение здесь подразделяется на несколько стадий.

В целом поворот к доктрине информированного согласия стал возможным благодаря пересмотру концепции целей медицины.

7.3. Биосфера и космос

Биосфера — живая открытая система. Она обменивается энергией и веществом с внешним миром. В данном случае внешний мир — это безбрежное космическое пространство.

Извне на Землю приходят солнечное электромагнитное излучение; так называемый солнечный ветер, представляющий собой непрерывно испускающиеся Солнцем с переменной интенсивностью сгустки плазменных облаков, космические лучи, а также потоки метеоритов.

От Земли в космос уходят собственное тепловое излучение, часть обратного рассеянного излучения Солнца, а также потоки вещества верхней атмосферы Земли.

Таким образом, система “биосфера — космос” представляет собой сложную динамическую систему, находящуюся в состоянии подвижного равновесия.

Пограничная область между системой “Земля — космос” проходит на расстоянии 5–60 тыс. км над поверхностью Земли. Именно на такое расстояние простирается граница магнитосферы. Процессы взаимодействия магнитосферы с веществом солнечной плазмы — солнечным ветром и солнечными лучами — изучаются и исследуются в рамках магнитной гидродинамики — современной космической науки, учитывающей сложные явления пограничной среды в соответствии с уравнениями электромагнитного поля Максвелла, с одной стороны, и с уравнениями гидродинамики, — с другой.

В свое время академик В. И. Вернадский всячески подчеркивал, что существует тесная взаимосвязь между явлениями, происходящими на Земле, и процессами космического порядка. Сейчас уже нет никаких сомнений в том, что среда нашего обитания — фактически не только Земля, даже не только Солнечная система, но и вся окружающая нас Вселенная, неотъемлемой частью которой мы являемся.

В связи с этим при изучении земных явлений необходим системный подход в науках о Земле, что диктуется не только обнаружением тех или иных конкретных связей между земными и космическими явлениями, но и общими принципами современного естествознания. Целостное восприятие мира — необходимая черта современного стиля научного мышления.

Эпоху, в которой мы живем, по праву называют космической эрой, эпохой освоения космоса. И дело не только в осуществлении космических полетов и успешном развитии космической техники. Освоение космоса, все более глубокое познание закономерностей космических явлений, вовлечение космоса в сферу человеческой практики — настоящая потребность современного этапа развития земной цивилизации.

Теперь становится все более ясно, что само возникновение и существование биосферы и человека тесно связаны с физическими условиями во Вселенной, а также с особенностями течения

физических процессов на Земле, в непосредственно окружающей нас области космоса и во Вселенной в целом.

Земные явления бесчисленными нитями связаны с физическими процессами, протекающими в космическом пространстве. Во-первых, во многих земных явлениях находят свое отражение общие закономерности космического порядка. Во-вторых, существует целый ряд непосредственных связей и зависимостей, определяющих влияние тех или иных космических факторов на нашу планету, в том числе и на биосферу. Таких факторов очень много.

Например, в результате вращения Земли дважды в сутки наблюдаются морские приливы и отливы под действием гравитационного притяжения со стороны Луны. Ясно, что это явление важно для обитателей приморских районов.

Положение Земли в пространстве относительно Солнца приводит к смене дня и ночи и смене времен года, что влияет на все стороны жизни биосферы.

Важную роль сыграли факторы космического порядка в процессе становления жизни на Земле. В частности, многие характерные особенности живых организмов, в том числе и организма человека, непосредственно связаны с величиной силы тяжести на Земле, характером солнечного излучения, положением нашей планеты в Солнечной системе, а также с положением Солнечной системы в нашей Галактике.

Так, например, строение органов зрения человека и животных непосредственно связано с тем, что наше Солнце интенсивно излучает в оптическом диапазоне, и это излучение проходит сквозь атмосферу нашей планеты. Не случайно и то, что человеческий глаз наиболее чувствителен к желто-зеленым лучам. Именно эти лучи в составе солнечного спектра имеют наибольшую интенсивность.

Подмечен целый ряд статистических зависимостей, которые обнаруживают связь колебаний солнечной активности с эпидемиями, частотой сердечно-сосудистых и нервно-психических заболеваний, обострением хронических болезней, урожайностью, ростом годовых колец у деревьев.

Возникла новая область науки — гелиобиология, главная задача которой состоит в том, чтобы выяснить физические механизмы воздействия Солнечной системы на процессы, протекающие в биосфере. Это одна из актуальных проблем современного естествознания, имеющих огромное практическое значение для человечества.

В последние десятилетия прямого изучения космического пространства с помощью спутников и космических аппаратов удалось существенно продвинуться в исследовании механизмов солнечно-земных связей, в первую очередь — в изучении целого ряда циклических процессов на Солнце и их проявлений в земных условиях. Прежде всего речь идет о 27-дневных (в среднем) ритмах Солнца, связанных с вращением Солнца относительно своей оси, с 11-летним и 22-летним циклами солнечной активности.

Современная гелиобиология подтверждает факт влияние ритмов Солнца на земные процессы, однако выясняется, что механизмы такого влияния сложнее, чем это представлялось в первой половине XX в. основателям космической биологии В. И. Вернадскому и А. Л. Чижевскому (1897–1964 гг.).

В то же время целый ряд конкретных вопросов солнечно-земных связей уже нашел решение с точки зрения изучения как материальных носителей таких связей (главным образом солнечных корпускулярных потоков), так и механизмов. К ним относятся вопросы изучения причин изменения магнитного поля Земли, появления магнитных бурь, резких изменений состояния ионосферы, что ведет к существенному изменению процесса распространения радиоволн на Земле, появлению полярных сияний, процессов изменения атмосферного электричества и ряду других явлений.

Ясно, что необходимо дальнейшее изучение влияния всех установленных геофизических явлений на биосферу, в том числе и на организм человека.

Человеческий организм — сложная и высокосовершенная саморегулирующаяся система, которая стремится к равновесию с окружающей средой, включающей в себя факторы космиче-

ского порядка. Всякое нарушение этого равновесия, связанное с изменением внешних условий, вызывает соответствующую перестройку и в деятельности организма.

Этим обстоятельством, например, пользуется современная медицина (воздействие на организм климатических, бальнеологических и других природных факторов). Дальнейшее изучение влияния различных природных, в том числе и космических, факторов на живые организмы открывает новые пути избавления человека от различных недугов.

7.4. Ноосфера

Эволюция биосферы на протяжении большей части ее истории осуществлялась под влиянием двух главных факторов: естественных, геологических и климатических изменений на планете и изменений видового состава и количества живых существ в процессе биологической эволюции. На современном этапе к ним присоединился третий фактор — развивающееся человеческое общество.

Эволюция органического мира прошла несколько этапов. Первый из них — возникновение первичной биосферы с биотическим круговоротом, второй — усложнение структуры биотического компонента биосферы в результате появления многоклеточных организмов. Эти два этапа, связанные с чисто биологическими закономерностями жизнедеятельности и развития, могут быть объединены в период биогенеза.

Третий этап связан с возникновением человеческого общества. Разумеется, по своим намерениям деятельность людей в масштабе биосферы способствует превращению последней в ноосферу. На рассматриваемом этапе эволюция происходит под определяющим воздействием человеческого сознания в процессе производственной (трудовой) деятельности людей, что свойственно периоду ноогенеза.

На основе наблюдений природных явлений представление о том, что живые существа взаимодействуют с внешней средой и влияют на ее изменение, возникло давно. В XVII в. зачатки

представлений о биосфере мы встречаем в трудах голландских ученых С. Аррениуса и Х. Гюйгенса.

Спустя время французский естествоиспытатель Жорж Кювье (1769–1832 гг.) заметил, что живые организмы могут существовать только путем обмена веществ с внешней средой. Другие исследователи — французский химик Жан Батист Дюма (1800–1884 гг.) и немецкий химик Ю. фон Либих выяснили значение зеленых растений в газовом обмене и роль почвенных растворов в питании растений.

Затем многие ученые изучали взаимоотношения организмов со средой их обитания, что непосредственно предшествовало нашему современному пониманию биосферы. Ж. Ламарк в своей книге “Гидрогеология” посвятил целую главу влиянию живых организмов на земную поверхность. Он писал: “В природе существует особая сила, могущественная и непрерывно действующая, которая обладает способностью образовывать сочетания, умножать их, разнообразить их. Влияние живых организмов на вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его внешнюю кору, весьма значительно, потому что эти существа, бесконечно разнообразные и многочисленные, с непрерывно меняющимися поколениями, покрывают своими постепенно накапливающимися и все время отлагающимися остатками все участки поверхности земного шара”.

Из этих высказываний следует правильная оценка огромной геологической роли организмов и продуктов их разложения. Выдающийся натуралист и географ Александр Гумбольдт (1769–1859 гг.) в своем сочинении “Космос” дал синтез знаний того времени о Земле и космосе и на основании этого развил идею о взаимосвязи всех природных процессов и явлений.

Существование биосферы Земли как определенной природной системы выражается в первую очередь в круговороте энергии и веществ при участии всех живых организмов. Идея этого круговорота была изложена в книге немецкого натуралиста Якоба Молешотта (1822–1893 гг.). А предложенное в 80-х гг. XIX в. подразделение организмов по способам питания на три группы (автотрофные, гетеротрофные и миксотрофные) немец-

ким физиологом Вильгельмом Пфедфером (1845–1920 гг.) было крупным научным обобщением, способствующим пониманию основных процессов обмена веществ в биосфере.

Понятие “ноосфера” было введено в науку французским философом Эдуаром Леруа (1870–1954 гг.) в 1927 г. Ноосферой Леруа назвал оболочку Земли, включающую человеческое общество с его языком, индустрией, культурой и прочими атрибутами разумной деятельности. Ноосфера, по мнению Э. Леруа, представляет собой “мыслящий пласт”, который, зародившись в неогене (около 1,8 млн лет назад), разворачивается с тех пор над миром растений и животных вне биосферы и над ней.

Значительно более широкое представление о биосфере и ноосфере дал основатель геохимии, биохимии, радиогеологии В. И. Вернадский. Он исходил из того, что естественно-научные гипотезы должны отражать объективную реальность материального мира, закономерности, связанные с физико-химическими, геологическими, биохимическими и другими процессами в едином комплексе.

В противоположность трактовке ноосферы, выдвинутой Э. Леруа, Вернадский представляет ноосферу не как нечто внешнее по отношению к биосфере, а как новый этап в развитии биосферы, заключающийся в разумном регулировании отношений человека и природы.

Наука управления взаимоотношениями между человеческим обществом и природой называется *ноогеникой*. Основная цель ноогеники — планирование настоящего во имя будущего, а ее главная задача — исправление нарушений в отношениях человека и природы, вызванных прогрессом техники.

На начальных этапах существования человеческого общества интенсивность его воздействия на среду обитания не отличалась от воздействия других организмов.

Палеолит (древний каменный век) начался с возникновением человека 2 млн лет назад. Экономической основой жизни человеческого общества была охота на крупных животных: северного оленя, шерстистого носорога, мамонта, тура. На стоянках дикого

человека находят многочисленные кости диких животных — свидетельство успешной охоты. Интенсивное истребление крупных травоядных животных привело к сравнительно быстрому сокращению их численности и исчезновению многих видов. В конце палеолита, примерно 10–12 тыс. лет назад, наступило резкое потепление, отступил ледник, леса распространились в Европе. Это создало новые условия жизни, разрушило сложившуюся экономическую базу человеческого общества. Закончился период развития, характеризовавшийся только использованием пищи, т. е. чисто потребительским отношением к окружающей среде.

В эпоху неолита (новый каменный век, 8-е–3-е тысячелетия до н. э.) наряду с охотой, рыбной ловлей и собирательством все большее значение приобретал процесс производства пищи. Рост населения, качественный скачок в развитии науки и техники за последние два столетия, и особенно в наши дни, привели к тому, что деятельность человека стала фактором планетарного масштаба, направляющей силой дальнейшей эволюции биосферы. Возникли антропоценозы (от греч. *ánthropōs* — “человек”, *koinós* — “общий, общность”) — сообщества организмов, в которых человек является доминирующим видом, а его деятельность — определяющей состоянием всей системы.

В. И. Вернадский считал, что влияние научной мысли и человеческого труда обусловили переход биосферы в новое состояние — ноосферу (сферу разума). Сейчас человечество использует для своих нужд все большую часть территории планеты и все большие количества минеральных ресурсов.

В настоящее время человек извлекает из биосферы сырье в значительном и все возрастающем количестве, а современные промышленность и сельское хозяйство производят или применяют вещества, не только не используемые другими видами организмов, но нередко и ядовитые. В результате этого биотический круговорот становится незамкнутым. Вода, атмосфера, почвы загрязняются отходами производства, вырубаются леса, истребляются дикие животные, разрушаются биогеоценозы.

Нежелательные последствия неконтролируемой человеческой деятельности осознавали естествоиспытатели уже в конце XVIII — начале XIX вв. (Ж. Л. Бюффон; Ж. Ламарк).

По своим последствиям воздействие человеческого общества на среду обитания может быть положительным и отрицательным. Последнее особо привлекает внимание. Основные пути воздействия людей на природу заключаются в расходовании естественных богатств в виде минерального сырья, почв, водных ресурсов, в загрязнении среды, разрушении биогеоценозов.

Положительное влияние человека выражается в выведении новых пород домашних животных и сортов сельскохозяйственных растений, создании культурных биогеоценозов, а также в разработке новых штаммов полезных микроорганизмов как основы микробиологической промышленности.

Прогнозы будущего человечества с учетом экологических проблем, стоящих перед ним, представляют непосредственный интерес для всего населения планеты. По мнению экспертов, экологическая ситуация, складывающаяся на Земле, таит в себе опасность серьезных и, возможно, необратимых нарушений природного равновесия в том случае, если деятельность человечества не приобретет планомерный, согласующийся с законами существования и развития биосферы, характер. Вместе с тем расчеты показывают, что человеческое общество не использует значительные резервы биосферы.

Одной из наиболее острых проблем современности является проблема быстрого роста населения Земли. Ежегодный прирост населения достигает 60–70 млн чел., или примерно 2%. К 2005 г. численность населения достигла 6 млрд чел. Площадь поверхности суши на планете равна $1,5 \cdot 10^{14} \text{ м}^2$, чего достаточно для размещения 15–20 млрд чел. со средней плотностью 300–400 чел./км², имеющей место в настоящее время в Бельгии, Нидерландах, Японии.

Растущее население Земли должно быть обеспечено пищей. Известно, что производство продовольствия на душу населения

растет медленнее, чем производство энергии, одежды, различных материалов. Многие миллионы людей в слаборазвитых странах испытывают нехватку продуктов. Вместе с тем из всей территории суши, пригодной для земледелия, в среднем по земному шару под сельскохозяйственные угодья занят лишь 41%. При этом на используемой территории, по мнению разных экспертов, получают от 3–4 до 30% возможного при современном уровне развития агротехники количества продуктов. Причины этого отчасти заключаются в недостаточной энерговооруженности сельского хозяйства. Так, в Японии, получая урожай в 5 раз больший, чем в Индии (с 1 га сельскохозяйственных угодий), затрачивают в 20 раз больше электроэнергии и в 20–30 раз больше удобрений и пестицидов.

Уже сейчас 30% металлоизделий изготавливают из вторичного сырья. При существующей технологии из месторождений нефти извлекается лишь 30–50% запасов. Выход полезных ископаемых, таким образом, может быть увеличен путем разработки прогрессивных способов добычи.

Около 95% энергии получают в настоящее время за счет сжигания ископаемого топлива, 3–4 — за счет энергии речного стока и только 1–2% за счет атомного топлива. Использование атомной энергии в мирных целях решит проблему энергетического кризиса.

Преобразующая деятельность людей неизбежна, так как с ней связано благосостояние населения. Современное человечество располагает исключительно мощными факторами воздействия на природу. Однако необходимо следовать принципу научно обоснованного рационального природопользования.

Этот принцип основан на идее Вернадского об эволюции биосферы в ноосферу, при которой разумная деятельность человека станет решающим фактором. Вернадский сформулировал ряд конкретных условий, необходимых для становления и существования ноосферы. Перечислим эти условия и посмотрим, в какой мере эти условия выполнены или выполняются.

1. Заселение человеком всей планеты.

Это условие выполнено. На Земле не осталось места, где бы не ступала нога человека. Он обосновался даже в Антрактиде.

2. Резкое преобразование средств связи и обмена между странами.

Это условие также можно считать выполненным. С помощью радио и телевидения мы моментально узнаем о событиях в любой точке земного шара.

Средства коммуникации постоянно совершенствуются, ускоряются, появляются такие возможности, о которых недавно даже не мечтали.

До недавнего времени средства телекоммуникации ограничивались телеграфом, телефоном, радио и телевидением, о которых писал еще Вернадский. Развитие глобальной телекоммуникационной компьютерной сети Интернет дало начало настоящей революции в человеческой цивилизации, которая входит сейчас в эру информации.

Совершенствование вычислительной и коммуникационной техники идет сейчас подобно тому, как идет размножение и эволюция живых организмов.

Если раньше Сетью пользовались только исследователи в области информатики, государственные служащие, то теперь практически любой желающий может получить доступ к ней. И здесь мы видим воплощение мечты Вернадского о благоприятной среде для развития научной работы, популяризации научного знания, об интернациональности науки.

“Всякий научный факт, всякое научное наблюдение, где бы и кем бы они ни были сделаны, — писал Вернадский, — поступают в единый научный аппарат, в нем классифицируются и приводятся к единой форме, сразу становятся общим достоянием для критики, размышлений и научной работы” (“Биосфера и ноосфера”). Но если раньше для того, чтобы вышла в свет научная работа, чтобы научная мысль стала известной миру, требовались годы, то сейчас любой ученый, имеющий доступ к сети Интернет, может представить свой труд.

Можно считать, что и это предсказание Вернадского сбылось.

3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми странами.

Это условие можно считать если не выполненным, то выполняющимся. Возникшая после Второй мировой войны Организация Объединенных Наций (ООН) оказалась достаточно устойчивой и действенной.

4. Начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере.

Это условие также можно считать выполненным, хотя именно преобладание геологической роли человека в ряде случаев привело к тяжелым экологическим последствиям. Объем горных пород, извлекаемых всеми шахтами и карьерами мира, сейчас почти в два раза превышает средний объем лав и пепла, выносимых ежегодно всеми вулканами Земли.

5. Расширение границ биосферы и выход в космос.

В работах последнего десятилетия жизни Вернадский не считал границы биосферы постоянными. Он подчеркивал расширение их в прошлом как итог выхода живых существ на сушу, появления высокоствольной растительности, летающих насекомых, а позднее — летающих ящеров и птиц. В процессе перехода в ноосферу границы биосферы должны расширяться, а человек должен выйти в космос. Эти предсказания сбылись.

6. Открытие новых источников энергии.

Условие в принципе выполнено, но иногда с трагическими последствиями. Речь идет об атомной энергии, которая давно освоена и в мирных, и, к сожалению, в военных целях. Человечество (а точнее — политики) пока явно не готово ограничиться мирными целями, более того, атомная (ядерная) сила вошла в наш век прежде всего как военное средство и средство устрашения противостоящих ядерных держав.

Вопрос об использовании атомной энергии глубоко волновал еще Вернадского. В предисловии к книге “Очерки и речи” он пророчески писал: “Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст

ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение?”

Для развития международного сотрудничества в области мирного использования атомной энергии в 1957 г. создано Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), объединившее большую часть государств — членов ООН.

7. Равенство людей всех рас и религий.

Это условие если не достигнуто, то во всяком случае достигается. Решительным шагом к установлению равенства людей различных рас и вероисповеданий было разрушение в прошлом веке колониальных империй.

8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики.

Это условие соблюдается во многих странах с парламентской формой правления.

9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли.

Сейчас трудно говорить о выполнении этого условия в разных странах. В развитых и даже развивающихся странах, на примере Индии, государственный и общественный строй создают режим максимального благоприятствования для свободной научной мысли.

10. Продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся; создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и чрезвычайно ослабить болезни.

О выполнении этого условия пока судить преждевременно. Однако Вернадский предупреждал, что процесс перехода биосферы в ноосферу не может происходить постепенно и однонаправлено, что на этом пути временные отступления неизбежны.

11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные,

эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения.

Это условие пока также не может считаться выполненным, однако первые шаги в направлении разумного преобразования природы во второй половине прошлого века, несомненно, начали осуществляться. В разных странах возникли и активизировались общества “зеленых”. В современный период происходит интеграция наук на базе экологических идей. Вся система научного знания создает фундамент для решения экологических задач. В мировом масштабе для решения экологической проблемы в условиях роста населения планеты требуется способность решения глобальных проблем всех государств, что в условиях современного мира пока труднодостижимо.

12. Исключение войн из жизни общества.

Это условие Вернадский считал чрезвычайно важным для создания и существования ноосферы. Но оно пока не выполнено. В целом мировое сообщество стремится не допустить мировой войны, хотя локальные войны непрерывно возникают.

Таким образом, мы видим, что большая часть условий перехода биосферы в ноосферу выполняется, а те, для которых такие возможности еще не созданы, в принципе, могут быть выполнены объединенными усилиями всего человечества. Однако ясно, что процесс образования ноосферы будет постепенным. Это неоднократно подчеркивал и сам Вернадский, утверждая, что человечество лишь вступает в процесс перехода от биосферы в ноосферу.

Пока что мы видим, что говорить о разумной планетарной деятельности человечества на современном этапе еще рано. Сейчас ноосферу можно представлять как определенный образ или идеал будущего планетарного развития.

В заключение все же отметим, что идеи Вернадского намного опережали то время, в котором он творил. В полной мере это относится к учению о биосфере и ее переходе в ноосферу. Только сейчас, в условиях необычайного обострения глобальных проблем современности, становятся ясны пророческие слова Вернадского о необходимости мыслить и действовать в планетарном

аспекте. Только сейчас рушатся иллюзии технократизма, покорения природы и выясняется сущностное единство биосферы и человечества. Судьба нашей планеты и судьба человечества — это единая судьба.

Становление ноосферы Вернадский связывал с действием многих факторов: с единством биосферы и человечества; единством человеческого рода; планетарным характером человеческой деятельности и ее соизмеримостью с геологическими процессами; развитием демократических форм человеческого общежития и стремлением к миру народов планеты, небывалым расцветом (“взрывом”) науки и техники. Обобщая данные явления, ставя в неразрывную связь дальнейшую эволюцию биосферы с развитием человечества, Вернадский и использует понятие ноосферы.

Необходимо иметь в виду, что формирование ноосферы — это задача сегодняшнего дня. Ее решение связано с объединением усилий всего человечества, утверждением новых ценностей, сотрудничества и взаимосвязи всех народов мира.

Устремленность в будущее — характерная черта ноосферного учения, которое в современных условиях необходимо развивать во всех направлениях.

7.5. Экология и здоровье

В настоящее время человечество стоит перед угрозой *экологического кризиса*, т. е. такого состояния среды обитания, которое вследствие произошедших в ней изменений оказывается непригодным для жизни людей. Ожидаемый кризис по своему происхождению является антропогенным, так как к нему ведут изменения в природе Земли, развивающиеся в связи с воздействием не нее человека.

Естественные богатства планеты подразделяются на невозполняемые и пополняемые. К первым, например, относят полезные ископаемые, запасы которых ограничены.

Тенденцию в изменениях пополняемых природных ресурсов можно проследить на примере леса. В настоящее время

лесом покрыто примерно 30% суши (без Антарктиды), тогда как в доисторические времена им было занято не менее 70%. Особенно пострадали леса в районах древних цивилизаций. На большей части территории Китая и Индии леса были почти полностью вырублены уже в прошлом тысячелетии.

Уничтожение лесов прежде всего резко нарушает водный режим планеты. Мелеют реки, их дно покрывается илом, что приводит в свою очередь к уничтожению нерестилиц и сокращению численности рыб. Уменьшаются запасы грунтовых вод, создается недостаток влаги в почве.

Талая вода и дождевые потоки смывают, а ветры, не сдерживаемые лесной преградой, выветривают почвенный слой. В результате возникает эрозия почв.

Древесина, ветки, кора, подстилка аккумулируют минеральные элементы питания растений. Уничтожение лесов ведет к вымыванию этих элементов из почв и, следовательно, падению ее плодородия.

С вырубкой лесов гибнут населяющие их птицы, звери, насекомые. Вследствие этого беспрепятственно размножаются вредители сельскохозяйственных культур.

Лес очищает воздух от ядовитых загрязнений, в частности он задерживает радиоактивные осадки и препятствует их дальнейшему распространению, т. е. вырубка лесов устраняет важный компонент самоочищения воздуха.

Наконец, уничтожение лесов на склонах гор является существенной причиной образования оврагов и селевых потоков.

Таким образом, из-за нерационального землепользования человечество потеряло вследствие эрозии почв обширные территории, ставшие практически непригодными для земледелия. Так за 150 лет в США эрозия привела к резкому снижению плодородия почв на территории, равной 120 млн га.

Промышленные отходы, пестициды, применяемые для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, радиоактивные вещества, образуемые, в частности, при испытаниях ядерного и термоядерного оружия, загрязняют природную среду.

Только автомобили в крупных городах за год выбрасывают в атмосферу около 50 млн м³ угарного газа; кроме того, каждый автомобиль ежегодно выделяет около 1 кг свинца. Обнаружено, что в организме людей, проживающих вблизи крупных магистралей, содержание свинца повышено.

Из-за бесконтрольного использования количество инсектицида ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтана), находящегося в распыленном состоянии на обширных территориях планеты и вредного для живых организмов, достигло 1 млн т. Троекратная обработка в 1960-е гг. инсектицидом, сходным с ДДТ, района живописного озера Клируи в США привела к почти полному уничтожению популяции гагар, достигавшей 1000 пар. В среднем в организме жителя США в 1961 г. было обнаружено около 925 мг хлорорганических соединений.

В настоящее время около 600 видов позвоночных животных находятся на грани полного истребления. К ним относятся киты, австралийские сумчатые, крокодилы, бегемоты, слоны, носороги, ряд крупных хищников.

Отдельные виды животных исчезают не только в результате их непосредственного истребления человеком. Между естественными и искусственными биоценозами все время идет борьба за территорию. Но человеческий труд оказывается настолько мощным фактором, что искусственные биоценозы, сами по себе малоустойчивые, тем не менее, теснят естественные биоценозы.

Деятельность человека изменяет структуру земной поверхности, под сельскохозяйственные угодья, строительство населенных пунктов, коммуникаций, водохранилища отчуждается территория, занимаемая природными биогеоценозами. К настоящему времени указанным образом преобразовано около 20% суши.

К числу отрицательных влияний относятся нерегулируемый промысел рыбы, млекопитающих, беспозвоночных, водорослей, изменение химического состава вод, воздуха, почвы в результате сбросов отходов промышленности, транспорта и сельскохозяйственного производства.

Рассмотрим, как изменились за последнее время в результате антропогенной деятельности основные компоненты биосферы — атмосфера, гидросфера и литосфера — и какой вред здоровью человека может нанести ухудшение среды его обитания.

Влияние атмосферы на организм человека

Наличие атмосферы является одним из необходимых условий существования жизни на Земле. Атмосфера регулирует климат Земли, суточные колебания температуры на планете (без нее они бы достигли 200 °С). В настоящее время средняя температура поверхности Земли равна 14 °С. Атмосфера пропускает излучение Солнца и сохраняет тепло. В ней образуются облака, дождь, снег, ветер. Она также играет роль переносчика влаги на Земле, является средой распространения звука.

Атмосфера служит источником кислородного дыхания, воспринимает газообразные продукты обмена веществ, оказывает влияние на теплообмен и другие функции живых организмов. Основное значение для жизнедеятельности организмов имеют кислород и азот.

Кислород необходим для дыхания большинства живых существ (исключение составляют лишь небольшое количество анаэробных микроорганизмов). Азот входит в состав белков и азотистых соединений. Углекислый газ является источником углерода органических веществ — важнейшего компонента этих соединений.

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов окружающей среды. Необходимо отметить, что в удалении от источников загрязнения химический состав атмосферы достаточно стабилен. Однако в результате хозяйственной деятельности человека появились очаги выраженного загрязнения воздушного бассейна (в тех районах, где размещены крупные промышленные центры).

К настоящему времени накопилось много научных данных о том, что загрязненность атмосферы, особенно в крупных городах, достигла опасных для здоровья людей размеров. Известно немало случаев заболеваний и даже смерти жителей городов

индустриальных центров в результате выбросов токсичных веществ промышленными предприятиями и транспортом при определенных метеорологических условиях. В связи с этим в литературе часто упоминаются катастрофические случаи отравления людей в ряде крупных городов не только США и Западной Европы, но и Японии, Китая, Канады, России.

Двуокись кремния и *свободный кремний*, содержащийся в летучей золе, являются причиной тяжелого заболевания легких, развивающегося у рабочих “пыльных” профессий, например, у горняков, работников коксохимических, угольных, цементных и ряда других предприятий. Ткань легких заменяется соединительной тканью, и эти участки перестают функционировать. У детей, проживающих вблизи мощных электростанций, не оборудованных пылеуловителями, обнаруживают изменения в легких, сходные с формами силикоза. Большая загрязненность воздуха дымом и копотью, продолжающаяся в течение нескольких дней, может вызвать отравления людей со смертельным исходом.

Особенно губительно действует на человека загрязнение атмосферы в тех случаях, когда метеорологические условия способствуют застою воздуха над городом. Содержащиеся в атмосфере вредные вещества воздействуют на человеческий организм при контакте с поверхностью кожи или слизистой оболочкой. Наряду с органами дыхания загрязнители поражают органы зрения и обоняния, а воздействуя на слизистую оболочку гортани, могут вызывать спазмы голосовых связок.

Загрязненный воздух раздражает большей частью дыхательные пути, вызывая бронхит, эмфизему, астму. К раздражителям, вызывающим эти болезни, относятся оксиды серы SO_2 и SO_3 , азотистые пары, пары соляной, серной кислот, фосфор и его соединения. Исследования, проведенные в Великобритании, показали очень тесную связь между атмосферным загрязнением и смертностью от бронхитов.

Уличные глазные травмы, вызываемые летучей золой и другими загрязнителями атмосферы, в промышленных центрах достигают 30–60% всех случаев глазных заболеваний, которые

очень часто сопровождаются различными осложнениями, конъюнктивитами.

Признаки и последствия действия загрязнителей воздуха на организм человека проявляются большей частью в ухудшении общего состояния здоровья: появляются головные боли, тошнота, чувство слабости, снижается или теряется трудоспособность.

Отдельные загрязняющие вещества вызывают специфические симптомы отравления. Например, хроническое отравление *фосфором* первоначально проявляется болями в желудочно-кишечном тракте и пожелтением кожного покрова. Эти симптомы сопровождаются потерей аппетита и замедлением обмена веществ. В дальнейшем отравление фосфором приводит к деформации костей, которые становятся все более хрупкими. Снижается сопротивляемость организма в целом.

Оксид углерода CO воздействует на нервную и сердечно-сосудистую систему, вызывает удушье. Первичные симптомы отравления оксидом углерода (появление головной боли) возникают у человека через 2–3 часа его пребывания в атмосфере содержащей 200–220 мг/м³ оксида углерода; при более высоких концентрациях появляются ощущение пульсации в висках, головокружение.

Оксиды азота. В атмосферу выбрасывается в основном диоксид азота NO₂ — бесцветный, не имеющий запаха ядовитый газ, раздражающе действующий на органы дыхания. Особенно опасны оксиды азота в городах, где они взаимодействуют с углеводами выхлопных газов и образуют фотохимический туман — смог. Отравленный оксидами азота воздух начинает действовать с легкого кашля. При повышении концентрации оксида азота NO возникают сильный кашель, рвота, иногда головная боль. При контакте с влажной поверхностью слизистой оболочки оксиды азота образуют азотную и азотистую кислоты HNO₃ и HNO₂, которые приводят к отеку легких.

Сероуглерод SO₂ уже в малых концентрациях (20–30 мг/м³) создает неприятный вкус во рту, раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательные пути. Его вдыхание вызывает болезненные явления в легких и дыхательных путях, иногда возникают

отек легких, глотки и паралич дыхания. Действие сероуглерода сопровождается тяжелыми нервными расстройствами, нарушением умственной деятельности.

Углеводороды (пары бензина, метана и т. д.) обладают наркотическим действием, в малых концентрациях вызывают головную боль, головокружение и т. п. При вдыхании паров бензина возникают головные боли, кашель, неприятные ощущения в горле.

Альдегиды. При длительном воздействии на человека альдегиды вызывают раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, а при повышении их концентрации отмечаются головная боль, слабость, потеря аппетита, бессонница.

Соединения свинца. В организм через органы дыхания поступает примерно 50% соединений свинца. Под действием свинца нарушается синтез гемоглобина, возникают заболевания дыхательных путей, мочеполовых органов, нервной системы. Особенно опасны соединения свинца для детей младшего возраста. В крупных городах содержание свинца в атмосфере достигает 5–38 мг/м³, что превышает естественный фон в 10 000 раз.

Сернистый ангидрид SO₂ в концентрации 6–20 см³/м вызывает раздражение слизистых оболочек носа, горла, глаз, увлажненных участков кожи.

Особенно опасны полициклические ароматические углеводороды типа 3, 4-бензопирена (C₂₀H₁₂), образующиеся при неполном сгорании топлива. По данным ряда ученых, они обладают канцерогенными свойствами.

Дисперсный состав пыли и туманов определяет общую проникающую способность вредных веществ. Особую опасность представляют токсичные тонкодисперсные пылинки размером частиц 0,5–1,0 мкм, которые легко проникают в органы дыхания.

Наконец, различные связанные с загрязнением воздуха явления — неприятные запахи, снижение освещенности и другие — психологически отрицательно действуют на людей.

Находящиеся в атмосфере и выпадающие вредные вещества поражают и животных. Они накапливаются в тканях животных

и могут стать источником отравлений, если мясо этих животных использовать в пищу.

Некоторые вещества разрушают металлические конструкции, бетон, естественные строительные каменные материалы и т. д., нанося тем самым вред промышленным объектам и архитектурным памятникам.

Кроме того, вместе с выбросами в атмосферу теряется много ценных веществ.

Влияние водных ресурсов на жизнедеятельность человека

Воды, находящиеся на поверхности планеты (материковые и океанические), образуют гидросферу. Гидросфера находится в тесной связи с другими сферами Земли: литосферой и атмосферой. Водные пространства занимают значительно большую часть поверхности земного шара по сравнению с сушей.

Вода постоянно находится в движении, перемещаясь с течениями рек и морей, а также испаряясь с поверхности водоемов и выпадая затем в виде атмосферных осадков. Она аккумулирует тепло, влияет на распределение солнечной энергии и образование различных по климатическим особенностям районов.

Вода водоемов способна самоочищаться и обеззараживаться. Это сложный физико-химический процесс.

Вода жизненно необходима. Она нужна везде — в быту, сельском хозяйстве и промышленности. Вода необходима организму в большей степени, чем все остальное, за исключением кислорода: человек может прожить без пищи 3–4 недели, а без воды — лишь несколько дней.

Живой клетке вода требуется как для сохранения структуры, так и для нормального функционирования. Она составляет примерно 2/3 массы тела. Вода помогает регулировать температуру тела, служит в качестве смазки, облегчающей движение суставов. Она играет важную роль в построении и восстановлении тканей тела. При резком сокращении потребления воды человек заболевает или его организм начинает хуже функционировать.

Но вода нужна, конечно, не только для питья: она помогает также содержать человеку в чистоте свое тело, жилище.

Вода, которую мы потребляем, должна быть чистой. Болезни, передаваемые через загрязненную воду, вызывают инвалидность и гибель огромного числа людей, особенно детей, преимущественно в менее развитых странах, для которых обычным является низкий уровень личной и коммунальной гигиены. Такие болезни, как брюшной тиф, дизентерия, холера, передаются человеку прежде всего в результате загрязнения водных источников.

Успех в борьбе с болезнями или их ликвидация зависят от того, как организована система удаления всех продуктов обмена, как поставлено дело обеспечения чистой водой всего населения.

Через воду могут передаваться инфекционная желтуха, туляремия, бруцеллез, полиомиелит.

Вода подчас становится источником заражения глистами. С загрязненной водой в организм человека могут попасть их яйца. В кишечнике они превращаются в паразитов (таковы аскариды, острицы). Наконец, через воду иногда происходит заражение лямблиями, которые поражают тонкий кишечник и печень.

Качество воды определяется также по наличию в ней химических включений, которые раньше всего обнаруживают наши органы чувств: обоняние, зрение. Так, микрочастицы *меди* придают воде некоторую мутность.

Присутствие в воде *железа* не угрожает нашему здоровью. Однако повышенное содержание солей железа в воде придает ей неприятный болотистый вкус. Если в такой воде постирать белье, на нем останутся ржавые пятна. Подобные же пятна появляются на посуде, раковинах и ваннах.

Иногда в питьевой воде встречается много солей соляной и серной кислоты (*хлоридов* и *сульфатов*). Они придают воде соленый и горько-соленый привкус. Употребление такой воды приводит к нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта. Вода, в 1 л которой хлоридов больше 350 мг, а сульфатов — больше 500 мг, считается неблагоприятной для здоровья.

А с содержанием солей *кальция* и *магния* тесно связано другое свойство воды — ее жесткость. Сильно насыщенная солями

вода причиняет массу неудобств: в ней труднее развариваются овощи и мясо; при стирке увеличивается расход мыла; накипь портит чайники и котлы, засоряет водопроводные трубы. Исследования ученых доказали, что существует определенная связь между употреблением жесткой воды и распространенностью некоторых болезней.

К такому выводу пришли, например, немецкие медики, изучавшие состав воды и распространенность наиболее часто встречающихся болезней в различных городах Германии. Оказалось, чем больше в воде того или иного города солей и примесей, тем меньше среди горожан, употреблявших эту воду, случаев инфаркта и приступов гипертонии. И наоборот, чем мягче питьевая вода, тем выше процент сердечно-сосудистых заболеваний среди населения.

Вода также влияет на состояние зубов человека. От того, сколько *фтора* содержится в воде, зависит частота заболеваемости кариесом. Считается, что фторирование воды эффективно для профилактики кариеса, особенно у детей.

Но кроме полезных примесей в воде находятся и другие, опасные для организма человека. По данным отечественных исследователей, употребление шахтной воды, содержащей 0,2–1 мг/л *мышьяка*, вызывает расстройство центральной и особенно периферической нервной системы с последующим развитием полиневритов. Безвредной признана концентрация мышьяка 0,05 мг/л.

Опасность для здоровья возникает при использовании в водопроводах свинцовых труб. Однако повышенные концентрации *свинца* могут встречаться и в подземных водах. Вода считается безвредной в том случае, если содержание в ней свинца не более 0,03 мг/л.

Бериллий довольно широко распространен в природе. Он содержится в некоторых природных водах. Бериллий является ядом общетоксического действия, который способен накапливаться в организме человека и в таком случае приводить к поражению дыхательной, нервной и сердечно-сосудистой систем. Содержание бериллия в питьевой воде допускается не более 0,002 мг/л.

Молибден встречается в природных водах. Избыточное его попадание в организм человека ведет к заболеванию молибденовой подагрой. Безвредной считается концентрация молибдена в питьевой воде 0,5 мг/л.

Стронций широко распространен в природных водах, при этом его концентрации колеблются в широких пределах (от 0,1 до 45 мг/л). Длительное его поступление в больших количествах в организм приводит к функциональным изменениям печени. Вместе с тем продолжительное употребление питьевой воды, содержащей стронций на уровне 7 мг/л, не вызывает функциональных и морфологических изменений в тканях, органах и в целом в организме человека. Эта величина принята в качестве норматива содержания стронция для питьевой воды.

Нитраты. Согласно современным научным данным, нитриты в кишечнике человека под влиянием обитающих там бактерий восстанавливаются в нитраты. Всасывание нитратов ведет к образованию метгемоглобина и к частичной потере активности гемоглобина в переносе кислорода.

Употребление воды, содержащей 2–11 мг/л нитратов, не вызывает повышения в крови уровня метгемоглобина, тогда как использование воды с концентрацией 50–100 мг/л резко увеличивает этот уровень. Метгемоглобинемия проявляется цианозом, снижением артериального давления. Эти симптомы специалисты зарегистрировали не только у детей, но и у взрослых.

Содержание нитратов в питьевой воде на уровне 10 мг/л является безвредным.

Уран — широко распространенный в природе радиоактивный элемент. Особенно большие его концентрации могут встречаться в подземных водах. В основу нормирования урана положены не его радиоактивные свойства, а токсическое влияние как химического элемента. Допустимое содержание урана в питьевой воде равно 1,7 мг/л.

Строго регламентируется и предельно допустимая концентрация в воде некоторых добавок, применяемых для осветления воды (например, полиакриламида, сернокислого алюминия).

Без преувеличения можно сказать, что высококачественная вода, отвечающая санитарно-гигиеническим и эпидемиологическим требованиям, является одним из непереносимых условий сохранения здоровья людей. Но чтобы она приносила пользу, ее необходимо очищать от всяких вредных примесей и доставлять человеку чистой.

Литосфера. Почва и человек

Почва — основной компонент любых наземных экосистем, в ней протекают разнообразные физические, химические и биологические процессы, ее населяет множество живых организмов. На содержание в ней минеральных и органических веществ, а также микроорганизмов влияют климатические условия, наличие промышленных и сельскохозяйственных объектов, время года и количество выпадающих осадков.

Физико-химический состав и санитарное состояние почвы могут оказать влияние на условия проживания и здоровье населения.

Загрязнения почвы, так же, как и атмосферного воздуха, связано с производственной деятельностью человека.

Источниками загрязнения почвы служат сельскохозяйственные и промышленные предприятия, а также жилые здания. При этом из промышленных и сельскохозяйственных объектов в почву поступают химические вещества, в том числе и весьма вредные для здоровья свинец, ртуть, мышьяк и их соединения, а также органические соединения.

Химические вещества, попадающие в почву из промышленных и сельскохозяйственных объектов, в отличие от органических, не подвергаются разложению. Из почвы вредные вещества (неорганического и органического происхождения) и болезнетворные бактерии могут поступать с дождевыми водами в поверхностные водоемы и водоносные горизонты, загрязняя воду, используемую для питья.

Некоторые из химических соединений, в том числе и канцерогенные углеводы, могут поглощаться из почвы растениями,

а затем через молоко и мясо попадать в организм человека, вызывая изменения в состоянии здоровья.

С бытовыми отходами и нечистотами в почву попадают болезнетворные бактерии, которые длительное время сохраняют свою жизнеспособность. Так, возбудитель дизентерии сохраняет активность более месяца, брюшного тифа — до 1 года, а вирус полиомиелита в сточной воде и почве не гибнет 2–3 месяца.

В почве длительное время сохраняют жизнеспособность также яйца гельминтов (бычьего цепня — 8 месяцев, власоглава — до 1 года, аскарид — до 10–13 лет). Через почву передаются такие заболевания, как сибирская язва, сальмонеллез, столбняк.

Заражение людей кишечными инфекциями и яйцами гельминтов может происходить как при прямом контакте с отбросами и отходами, так и при употреблении немытых овощей.

Человек и радиация

При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждая ткани органов, и явиться причиной гибели организма. Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней. Раковые заболевания, однако, могут проявляться спустя много лет после облучения — через одно — два десятилетия. А врожденные пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, проявляются лишь в следующем или последующих поколениях.

В то время как идентификация быстропроявляющихся (острых) последствий действия больших доз облучения не составляет труда, обнаружить отдаленные последствия малых доз облучения почти всегда оказывается трудно. Частично это объясняется тем, что для их проявления должно пройти очень много времени. Но даже обнаружив какие-то эффекты, требуется еще доказать, что они объясняются действием радиации, поскольку и рак, и повреждения генетического аппарата могут быть вызваны не только радиацией, но и множеством других причин.

Чтобы вызвать острое поражение организма, дозы облучения должны превышать определенный уровень. Однако даже

при относительно больших дозах облучения далеко не все люди обречены на болезни: действующие в организме восстановительные механизмы обычно ликвидируют все повреждения. Точно так же любой человек, подвергшийся действию радиации, совсем не обязательно должен заболеть раком или стать носителем наследственных болезней; однако вероятность, или риск, наступления таких последствий у него больше, чем у человека, который не был облучен. И риск этот тем больше, чем больше доза облучения.

Острое поражение организма человека происходит при больших дозах облучения. Радиация оказывает подобное действие лишь начиная с некоторой минимальной, или “пороговой”, дозы облучения.

Большое количество сведений было получено при анализе результатов применения лучевой терапии для лечения рака. Многолетний опыт позволил медикам получить обширную информацию о реакции тканей человека на облучение. Эта реакция для разных органов и тканей оказалась неодинаковой, причем различия очень велики.

Разумеется, если доза облучения достаточно велика, облученный человек погибнет. Во всяком случае, очень большие дозы облучения порядка — 100 Гр вызывают настолько серьезное поражение центральной нервной системы, что смерть, как правило, наступает в течение нескольких часов или дней. При дозах от 10 до 50 Гр при облучении всего тела поражение центральной нервной системы может оказаться не настолько серьезным, чтобы сразу привести к летальному исходу, однако облученный человек скорее всего все равно умрет через 1–2 недели от кровоизлияний в желудочно-кишечном тракте. При меньших дозах может не произойти серьезных повреждений желудочно-кишечного тракта или организм с ними справится, и, тем не менее, смерть может наступить через 1–2 месяца с момента облучения, главным образом из-за разрушения клеток красного костного мозга — главного компонента кроветворной системы организма. От дозы в 3–5 Гр при облучении всего тела умирает примерно половина всех облученных.

У детей относительно небольшие дозы при облучении хрящевой ткани могут замедлить или вовсе остановить рост костей, что приводит к аномалиям развития скелета. Чем меньше возраст ребенка, тем сильнее подавляется рост костей. Суммарной дозы порядка 10 Гр, полученной в течение нескольких недель при ежедневном облучении, бывает достаточно, чтобы вызвать некоторые аномалии развития скелета. По-видимому, для такого действия радиации не существует никакого порогового эффекта. Оказалось также, что облучение мозга ребенка при лучевой терапии может вызвать изменения в его характере, привести к потере памяти, а у очень маленьких детей даже к слабоумию и идиотии. Кости и мозг взрослого человека способны выдерживать гораздо большие дозы.

Крайне чувствителен к действию радиации и мозг плода, особенно если мать подвергается облучению между восьмой и пятнадцатой неделями беременности. В этот период у плода формируется кора головного мозга, и существует большой риск того, что в результате облучения матери (например, рентгеновскими лучами) родится умственно отсталый ребенок.

Рак — наиболее серьезное из всех последствий облучения человека при малых дозах, по крайней мере непосредственно для тех людей, которые подверглись облучению. Обширные обследования, охватившие около 100 тыс. чел., переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 г., показали, что пока рак является единственной причиной повышенной смертности в этой группе населения.

Изучение генетических последствий облучения связано с еще большими трудностями, чем в случае рака. Во-первых, очень мало известно о том, какие повреждения возникают в генетическом аппарате человека при облучении; во-вторых, полное выявление всех наследственных дефектов происходит лишь на протяжении многих поколений; в-третьих, как и в случае рака, эти дефекты сложно отличить от тех, которые возникли совсем по другим причинам.

Радиация — далеко не новое явление; новизна состоит лишь в том, как люди пытались ее использовать. И радиоактивность,

и сопутствующее ей ионизирующее излучение существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли. Ионизирующее излучение сопровождало и Большой взрыв, с которого, как мы сейчас полагаем, началось существование нашей Вселенной. С того времени радиация постоянно наполняет космическое пространство. Радиоактивные материалы вошли в состав Земли с самого ее рождения. Даже человек слегка радиоактивен, так как во всякой живой ткани присутствуют в следовых количествах радиоактивные вещества.

Влияние звуков на организм человека

Человек всегда жил в мире звуков и шума. Звуком называют такие механические колебания внешней среды, которые воспринимаются слуховым аппаратом человека (от 16 до 20 000 колебаний в секунду). Колебания большей частоты называют ультразвуком, меньшей — инфразвуком. Шум — громкие звуки, слившиеся в нестройное звучание.

Для всех живых организмов, в том числе и человека, звук является одним из воздействий окружающей среды.

В природе громкие звуки редки, шум относительно слаб и непродолжителен. Сочетание звуковых раздражителей дает животным и человеку время, необходимое для оценки их характера и формирования ответной реакции. Звуки и шумы большой мощности поражают слуховой аппарат, нервные центры, могут вызвать болевые ощущения и шок. Так действует шумовое загрязнение.

Длительный шум неблагоприятно влияет на орган слуха, понижая чувствительность к звуку.

Уровень шума измеряется в единицах, выражающих степень звукового давления, — децибелах. Это давление воспринимается не беспредельно. Уровень шума в 20–30 децибелов (дБ) практически безвреден для человека, это естественный шумовой фон. Что же касается громких звуков, то здесь допустимая граница составляет примерно 80 дБ. Звук в 130 дБ уже

вызывает у человека болевое ощущение, а 150 — становится для него непереносимым.

Очень высок уровень и промышленных шумов. На многих работах и шумных производствах он достигает 90–110 дБ и более. Не намного тише и у нас дома, где появляются все новые источники шума, — бытовая техника.

В настоящее время ученые во многих странах мира выясняют влияние шума на здоровье. Их исследования показали, что шум наносит ощутимый вред здоровью человека. И, наоборот, ученые установили, что звуки определенной силы стимулируют процесс мышления, в особенности процесс счета. Но и абсолютная тишина пугает и угнетает. Так, сотрудники одного конструкторского бюро, имевшего прекрасную звукоизоляцию, уже через неделю стали жаловаться на невозможность работы в условиях гнетущей тишины. Они нервничали, теряли работоспособность. Каждый человек воспринимает шум по-разному. Многое зависит от возраста, темперамента, состояния здоровья, окружающих условий.

Постоянное воздействие сильного шума может не только отрицательно повлиять на слух, но и вызвать другие вредные последствия — звон в ушах, головокружение, головную боль, повышение усталости. Очень шумная современная музыка также притупляет слух, вызывает нервные заболевания.

В настоящее время врачи говорят о шумовой болезни, развивающейся в результате воздействия шума с преимущественным поражением слуха и нервной системы.

Погода и самочувствие человека

Несколько десятков лет назад практически никому и в голову не приходило связывать свою работоспособность, свое эмоциональное состояние и самочувствие с активностью Солнца, с фазами Луны, с магнитными бурями и другими космическими явлениями.

В любом явлении природы существует строгая повторяемость процессов: день и ночь, прилив и отлив, зима и лето. Рит-

мичность не только наблюдается в движении Земли, Солнца, Луны и звезд, но и является неотъемлемым и универсальным свойством живой материи, свойством всех жизненных явлений — от молекулярного уровня до уровня целого организма.

В ходе исторического развития человек приспособился к определенному ритму жизни, обусловленному ритмическими изменениями в природной среде и энергетической динамикой обменных процессов.

В настоящее время известно множество ритмических процессов в организме, называемых биоритмами. К ним относятся ритмы работы сердца, дыхания, биоэлектрической активности мозга. Вся наша жизнь представляет собой постоянную смену покоя и активной деятельности, сна и бодрствования, утомления от напряженного труда и отдыха.

Центральное место среди всех ритмических процессов занимают суточные ритмы, имеющие наибольшее значение для организма. Реакция организма на любое воздействие зависит от фазы суточного ритма, т. е. от времени суток. Знание этого вызвало развитие новых направлений в медицине — хронодиагностики, хронотерапии, хронофармакологии. Основу их составляет положение о том, что одно и то же средство в различные часы суток оказывает на организм различное, иногда прямо противоположное воздействие. Поэтому для получения большего эффекта важно указывать не только дозу, но и точное время приема лекарств.

Климат также оказывает серьезное воздействие на самочувствие человека, воздействуя на него через погодные факторы. Погодные условия включают в себя комплекс физических условий: атмосферное давление, влажность, движение воздуха, концентрацию кислорода, степень возмущенности магнитного поля Земли, уровень загрязнения атмосферы.

При резкой смене погоды снижается физическая и умственная работоспособность, обостряются болезни, увеличивается число ошибок, несчастных и даже смертельных случаев.

Большинство физических факторов внешней среды, во взаимодействии с которыми эволюционировал человеческий организм, имеют электромагнитную природу.

Хорошо известно, что возле быстротекущей воды воздух освежает и бодрит. В нем много отрицательных ионов. По этой же причине нам представляется чистым и освежающим воздух после грозы.

Наоборот, воздух в тесных помещениях с обилием разного рода электромагнитных приборов насыщен положительными ионами. Даже сравнительно непродолжительное нахождение в таком помещении приводит к заторможенности, сонливости, головокружениям и головным болям. Аналогичная картина наблюдается в ветреную погоду, в пыльные и влажные дни. Специалисты в области экологической медицины считают, что отрицательные ионы положительно влияют на здоровье, а положительные — негативно.

Изменения погоды не одинаково сказываются на самочувствии разных людей. У здорового человека при изменении погоды в организме происходит своевременное подстраивание физиологических процессов к изменившимся условиям внешней среды. В результате усиливается защитная реакция, и здоровые люди практически не ощущают отрицательного влияния погоды.

Ландшафт как фактор здоровья

Человек всегда стремится в лес, в горы, на берег моря, реки или озера. Здесь он чувствует прилив сил, бодрости. Недаром говорят, что лучше всего отдыхать на лоне природы. Санатории, дома отдыха строятся в самых красивых уголках. Это не случайность. Оказывается, что окружающий ландшафт может оказывать различное воздействие на психоэмоциональное состояние. Созерцание красот природы стимулирует жизненный тонус и успокаивает нервную систему. Растительные биоценозы, особенно леса, оказывают сильное оздоровительное действие.

Тяга к природным ландшафтам особенно сильна у жителей города. Еще в Средние века было замечено, что продолжительность жизни горожан меньше, чем у сельских жителей. Отсутствие зелени, узкие улочки, маленькие дворы-колодцы, куда практически не проникал солнечный свет, создавали неблагоприятные условия для жизни человека.

С развитием промышленного производства в городах и их окрестностях появилось огромное количество отходов, загрязняющих окружающую среду.

Разнообразные факторы, связанные с ростом городов, в той или иной мере сказываются на формировании человека, на его здоровье. Это заставляет ученых все серьезнее изучать влияние среды обитания на жителей городов. Оказывается, от того, в каких условиях живет человек, какая высота потолков в его квартире и настолько звукопроницаемы ее стены, как человек добирается до места работы, с кем он повседневно общается, как окружающие люди относятся друг к другу, зависят настроение человека, его трудоспособность, активность — вся его жизнь.

Например, насыщение среды и производства скоростными и быстродействующими машинами повышает напряжение, требует от человека дополнительных усилий, что приводит к переутомлению.

Загрязненный воздух в городе, отравляя кровь окисью углерода, наносит некурящему человеку такой же вред, как и выкуривание курильщиком пачки сигарет в день.

Серьезным отрицательным фактором в современных городах является так называемое шумовое загрязнение.

Очень важно, чтобы город был биогеоценозом, пусть не абсолютно благоприятным, но хотя бы не вредящим здоровью людей. Для этого необходимо решить массу городских проблем. Все предприятия, неблагоприятные в санитарном отношении, должны быть выведены за пределы городов.

Учитывая способность зеленых насаждений благоприятно влиять на состояние окружающей среды, необходимо максимально приближать их к месту жизни, работы, учебы и отдыха людей.

Зеленые насаждения являются неотъемлемой частью комплекса мероприятий по защите и преобразованию окружающей среды. Они не только создают благоприятные микроклиматические и санитарно-гигиенические условия, но и повышают художественную выразительность архитектурных ансамблей.

Особое место вокруг промышленных предприятий и автострад должны занимать защитные зеленые зоны, в которых

рекомендуется высаживать деревья и кустарники, устойчивые к загрязнению.

В размещении зеленых насаждений необходимо соблюдать принцип равномерности и непрерывности для обеспечения поступления свежего загородного воздуха во все жилые зоны города. Важнейшими компонентами системы озеленения города являются насаждения в жилых микрорайонах, вокруг детских учреждений, школ, спортивных комплексов и проч.

Городской ландшафт не должен быть однообразной каменной пустыней. В архитектуре города следует стремиться к гармоничному сочетанию аспектов социальных (здания, дороги, транспорт, коммуникации) и биологических (зеленые массивы, парки, скверы).

Современный город следует рассматривать как экосистему, в которой созданы наиболее благоприятные условия для жизни человека. Следовательно, это не только удобные жилища, транспорт, разнообразная сфера услуг. Это благоприятная для жизни и здоровья среда обитания; чистый воздух и зеленый городской ландшафт.

Неслучайно экологи считают, что в современном городе человек должен быть не оторван от природы, а как бы растворен в ней. Поэтому общая площадь зеленых насаждений в городах должна составлять больше половины его территории.

Проблемы адаптации человека к окружающей среде

В истории нашей планеты (с формирования и до настоящего времени) непрерывно происходили и происходят грандиозные процессы планетарного масштаба, преобразующие лик Земли. С появлением могущественного фактора — человеческого разума — начался качественно новый этап в эволюции органического мира.

Производственная деятельность человека не только оказывает влияние на направление эволюции биосферы, но и определяет его собственную биологическую эволюцию.

Человек, как и другие виды живых организмов, способен адаптироваться, т. е. приспосабливаться, к условиям окружаю-

щей среды. Адаптацию человека к новым природным и производственным условиям можно охарактеризовать как совокупность социально-биологических свойств и особенностей, необходимых для устойчивого существования организма в конкретной экологической среде.

Жизнь каждого человека можно рассматривать как постоянную адаптацию, но наши способности к этому имеют определенные границы. Так же и способность человека восстанавливать свои физические и душевные силы не бесконечна.

В настоящее время значительная часть болезней человека связана с ухудшением экологической обстановки: загрязнением атмосферы, воды и почвы, недоброкачественными продуктами питания, возрастанием шума.

Приспосабливаясь к неблагоприятным экологическим условиям, организм человека испытывает состояние напряжения, утомления. Напряжение — мобилизация всех механизмов, обеспечивающих определенную деятельность организма человека. При утомлении здорового человека может происходить перераспределение возможных резервных функций организма, и после отдыха вновь появятся силы. Люди способны переносить самые суровые природные условия в течение относительно продолжительного времени. Однако человек, не привыкший к этим условиям, попадающий в них впервые, оказывается в значительно меньшей степени приспособленным к жизни в незнакомой среде, чем ее постоянные обитатели.

Способность адаптироваться к новым условиям у разных людей не одинакова. Так, у многих при дальних авиаперелетах с быстрым пересечением нескольких часовых поясов, а также при сменной работе возникают такие неблагоприятные симптомы, как нарушение сна, падает работоспособность. Другие же адаптируются быстро.

Можно выделить два крайних адаптивных типа человека. Первый из них — “спринтер”, характеризующийся высокой устойчивостью к воздействию кратковременных экстремальных факторов и плохой переносимостью длительных нагрузок. Другой тип — “стайер”. Интересно, что в северных регионах страны

среди населения преобладают люди типа “стайер”, что явилось, по-видимому, результатом длительных процессов формирования популяции, адаптированной к местным условиям.

Изучение адаптивных возможностей человека и разработка соответствующих рекомендаций имеют в настоящее время важное практическое значение.

Проблема экологии — одна из самых актуальных в наше время, и хочется верить, что наши потомки не будут так подвержены негативным факторам окружающей среды, как в настоящее время. Однако человечество до сих пор не осознает важности и глобальности проблемы защиты окружающей среды.

Все процессы в биосфере взаимосвязаны. Человечество — лишь незначительная часть биосферы, а человек является лишь одним из видов органической жизни — *Homo sapiens* (“человек разумный”). Разум выделил человека из животного мира и дал ему огромное могущество. Человек на протяжении веков стремился не приспособиться к природной среде, а сделать ее удобной для своего существования. Теперь всем понятно, что любая деятельность человека оказывает влияние на окружающую среду, а ухудшение состояния биосферы опасно для всех живых существ, в том числе и для человека.

Всестороннее изучение взаимоотношений человека с окружающим миром привело к пониманию того, что здоровье — это не только отсутствие болезней, но и физическое, психическое и социальное благополучие. Здоровье — это капитал, данный нам не только природой от рождения, но и теми условиями, в которых мы живем.

Глава 8. ПРОБЛЕМЫ САМООРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ И УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ

8.1. Необратимость времени

В естествознании с момента зарождения классической физики рассматриваются процессы, происходящие в пространстве и во времени. При этом понятия пространства и времени сначала рассматривались как самоочевидные. Однако на самом деле они имеют очень сложную сущность, особенно это касается так называемых парадоксов времени.

В классической и квантовой физике время выступало в качестве особого параметра, знак которого можно менять на обратный. При этом законы классической и квантовой механики справедливы как для прямых, так и для обратных процессов, т. е. время в этих случаях является обратимым.

Парадоксы времени стали возникать позднее, с рассмотрения понятия временного интервала, или длительности, затем в связи с проблемой становления нового подхода к рассмотрению вопросов эволюции и самоорганизации неживой и живой природы, при детальном рассмотрении законов термодинамики, в частности закона возрастания энтропии. Парадоксы времени возникают также при рассмотрении причинно-следственных связей, поскольку причина, по смыслу, должна предшествовать следствию, и т. д.

В основе парадоксов времени в основном лежит противоречие между законами классической физики, игнорирующими эволю-

цию и развитие, с одной стороны, и возникновением нового в той или иной системе неживой или живой природы — с другой.

В большом числе случаев исследования развития различных систем в пространстве и времени показали, что время является необратимым. В 1928 г. Артур Эддингтон (1882–1944 гг.) в книге “Природа физического мира” для образной характеристики необратимости времени использовал яркое выражение “стрела времени”. В этой книге он предсказал конец господства в физике детерминистских (“первичных”) законов с обратимым временем и наступление эры статистических (“вторичных”) законов, описывающих необратимые процессы. Предсказание Эддингтона полностью сбылось.

Сейчас принято рассматривать уже три стрелы времени. Это, во-первых, стрела термодинамическая, указывающая направление времени, в котором возрастает энтропия, во-вторых — стрела психологическая (или биологическая). Это направление, в котором мы ощущаем ход времени, направление, при котором мы помним прошлое, но не знаем будущее. Это направление времени, в котором наблюдается четко выраженная асимметрия между прошлым и будущим, между причиной и следствием. И, в-третьих, стрела космогоническая. Это направление времени, в котором Вселенная расширяется, а не сжимается.

Ниже подробнее остановимся на существующих парадоксах времени и современной точке зрения на необратимость времени.

Рассмотрим определение времени из классической философии. Время — атрибут, всеобщая форма бытия материи, выражающая длительность бытия и последовательность смены состояний всех материальных систем и процессов в мире. Время не существует само по себе, вне материальных изменений, точно так же невозможно существование материальных систем и процессов, не обладающих длительностью, не изменяющихся от прошлого к будущему. Пространство и время неразрывно связаны между собой, их единство проявляется в движении и развитии материи.

В строгом смысле время выражает порядок смены физических состояний и является объективной характеристикой любого физического процесса или явления.

В общей форме для времени характерны длительность и порядок последовательности событий. Отметим главные свойства времени:

- однонаправленность (необратимость);
- одномерность (при наличии начала отчета любой момент времени может быть задан с помощью только одного числа, а для фиксации любого события требуется один временной параметр);
- упорядоченность (моменты времени расположены по отношению друг к другу в линейном порядке);
- непрерывность и связанность (время состоит из несчетного множества мгновений, его нельзя разбить на части, чтобы в одной из них не было бы времени, бесконечно близкого ко второй части).

С течением лет взгляды на природу времени менялись существенным образом. До начала XX в. ученые придерживались взглядов основателя классической механики И. Ньютона об абсолютном и относительном времени.

В своей знаменитой работе “Математические начала натуральной философии” Ньютон выделил абсолютное и относительное время следующим образом: “Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью. Относительное, кажущееся, или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как то: час, день, месяц, год”.

Абсолютность времени означает, что каждое событие можно единственным образом пометить неким числом, которое называется точкой времени (временный отсчет), и все точно идущие часы будут показывать одинаковый интервал времени между двумя событиями.

В классической физике в качестве основных трех величин наряду с временем t принято использовать длину ℓ и массу m тел, хотя это совсем необязательно, можно подобрать другие три и через них определить все остальные.

Например, скорость определяется как изменение длины, деленное на изменение времени: $v = \frac{dl}{dt}$, а ускорение —

как изменение скорости dv за интервал времени dt , т. е.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dl}{dt} \right) = \frac{d^2l}{dt^2}.$$

Здесь время выступает как некоторый параметр движения, а второй закон движения Ньютона $F = ma$ можно записать в виде:

$$F = m \frac{d^2l}{dt^2}.$$

Очевидно, что этот фундаментальный закон симметричен относительно направления времени. Действительно, если мы течение времени t заменим на обратное, т. е. $(-t)$, то второй закон Ньютона останется неизменным, так как вторая производная $\frac{d^2l}{dt^2}$ не зависит от знака времени t :

$$\frac{d^2l}{dt^2} = \frac{d^2l}{d(-t)^2}.$$

Следовательно, законы классической механики допускают обратимость времени. Более того, главная особенность классической физики — это детерминизм (определенность). То есть если известны уравнения движения и начальные условия, то можно вполне однозначно определить любое состояние механической системы как в прошлом, так и в будущем.

Однако в обычной жизни существует большое различие между движением вперед и назад во времени. Представим себе, что со стола падает и разбивается чашка с водой. Если снять это падение на кинолентку, то при просмотре фильма сразу станет ясно, вперед или назад прокручивается пленка. Если она прокручивается назад, то мы увидим, что вода и лежащие на полу осколки вдруг собираются вместе и, сжавшись в целую чашку,

вспрыгивают на стол. Нам ясно, что фильм прокручивается назад, потому что в обычной жизни такого не бывает.

Значит, физическое описание процессов в классической физике неполно и отражает какие-то стороны реальной природы, не затрагивает других ее глубинных свойств, учет которых должен автоматически приводить к тому, что ситуации, когда время имеет отрицательный знак, невозможны.

В классической физике фундаментальные законы механики не содержат таких запретов. И в этом проявляется один из аспектов парадокса времени.

Парадокс заключается также в том, что весь опыт человечества, обобщенный во многих науках (геологии, биологии, истории и т. п.), говорит о существовании направленности развития событий, но почему-то это не находило своего отражения в законах классической физики.

Сегодня стала известна причина такого положения. Если в большинстве наук идея развития от прошлого к будущему составляет саму их основу как, например, в биологии — идея эволюционного развития, то в классической механике развитие событий, идеи становления практически не рассматриваются.

Как отмечал И. Р. Пригожин, внесший огромный вклад в разрешение парадокса времени, в книге “Время, хаос, квант”, “все, что дает классическая физика, сводится к следующему: изменение есть не что иное, как отрицание возникновения нового (все повторяется и все предсказано!), и время есть лишь параметр, не затрагиваемый преобразованием, которое он описывает”.

Следующие этапы развития представлений о времени в специальной теории относительности, а позднее в квантовой механике микромира также не смогли решить “парадокс времени”, связанный с существованием “стрелы времени”.

Открытие того, что скорость света одна и та же для любого наблюдателя независимо от того, как он движется, привело к созданию теории относительности, которая отвергла существование единого абсолютного времени. Каждый наблюдатель измеряет время своими часами, и показания часов разных наблюдателей не обязательно совпадают. Время стало более субъективным понятием, связанным с наблюдателем, который его измеряет.

В СТО не существует разграничения между прошлым и будущим. Самым поразительным выводом СТО является то, что события, происходящие в определенной последовательности, с точки зрения одного наблюдателя могут совершаться в иной последовательности, с точки зрения другого наблюдателя, движущегося относительно первого.

Не улучшает положение дел с решением проблемы парадокса времени и квантовая механика микромира. В квантовой механике аналогом классического уравнения движения Ньютона является уравнение Шредингера для волновой функции ψ , физический смысл которой — вероятность нахождения квантовой частицы в каком-то состоянии. В уравнение движения Шредингера волновая функция ψ входит в квадрате, и реальный физический смысл имеет лишь значение $|\psi|^2$, которое не зависит от знака входящего в него времени (от направления времени).

Понимание необратимости во времени многих процессов было найдено прежде всего в рамках статистической физики. В современной физике существует объяснение того факта, что процессы, происходящие с участием достаточно большого числа частиц, необратимы во времени (например, при передаче тепла от более нагретого тела к менее нагретому). Необратимость таких процессов имеет вероятностный характер. Это означает, что обратный во времени процесс, в принципе, возможен (т. е. он не противоречит уравнениям и законам физики), но крайне маловероятен.

Именно анализ тепловых процессов позволил по-новому понять необратимость времени, выяснить внутренние причины существования термодинамической “стрелы времени”.

При изучении тепловых процессов был установлен важнейший закон природы — второе начало термодинамики, — который дает возможность выразить в математической форме направление течения физических событий.

Этот закон гласит, что в реально существующих физических замкнутых системах процессы протекают (во времени) таким образом, что энтропия S возрастает. Это означает, что направление протекания физических процессов определяется при помощи энтропии.

В дальнейшем Людвиг Больцман (1844–1906 гг.) показал, что закон возрастания энтропии необходимо рассматривать не как строгий, а как статистический закон. Опираясь на выводы кинетической теории больших совокупностей атомов и молекул, Больцман установил, что столкновения частиц вещества подчиняются статистическим законам, что приводит к усреднению их по скоростям. В большинстве столкновений более быстрые молекулы будут терять свою скорость, а медленные — приобретать ее. Переход от высокой температуры к низкой нужно понимать, как статистическое уравнивание различий между молекулами по скоростям.

И закон возрастания энтропии подтвержден законом больших чисел в математической статистике, из которого следует, что система в целом постепенно (во времени) переходит к своему наиболее вероятному состоянию.

Эту связь между энтропией (S) и термодинамической вероятностью W состояния системы Больцман выразил в виде $S = k \ln W$, где k — постоянная Больцмана.

Таким образом, термодинамические процессы могут быть полностью сведены к статистической механике. Направление физических процессов, а значит, и направление времени объясняется как статистическая тенденция: акт становления представляет собой переход от менее вероятных состояний к более вероятным. Это положение представляет собой центральное звено концепции “направления” времени.

Другим аспектом рассмотрения необратимости времени является установление тесной связи между временным порядком и причинными процессами. Более того, выясняется, что временной порядок можно свести к причинно-следственному порядку. Эта идея впервые была выдвинута еще современником Ньютона Лейбницем, а затем окончательно обоснована Эйнштейном.

Следующая биологическая “стрела времени” — развитие во времени все более совершенных форм живой природы — подтверждена современной теорией эволюции органического мира. При этом сама теория эволюции сегодня опирается на неравновесную термодинамику, в основе которой лежит концепция необратимых процессов.

В заключение отметим, что “стрела времени” существует и при решении космических проблем. Развитие космологических теорий Большого взрыва и расширяющейся Вселенной также приводит к необратимости времени, к наличию только одного направления течения потока времени.

8.2. Самоорганизация в живой и неживой природе

Работами ряда авторов, и прежде всего И. Р. Пригожина, была развита термодинамика сильно неравновесных систем, в которых связь между термодинамическими потоками и силами перестает быть линейной, а также не выполняются условия взаимности Онсагера.

Это новое, далеко еще не завершенное физическое учение, получившее название нелинейной, неравновесной термодинамики, приводит к идее о возможности спонтанного возникновения упорядоченных структур в различных сильно неравновесных открытых системах, т. е. их самоорганизации. Отдельные примеры подобных процессов были известны сравнительно давно. Это образование ячеистых структур Бенара в неоднородно нагретом горизонтальном слое жидкости, возникновение турбулентности, вихрей и т. д.

Общим во всех явлениях образования упорядоченных структур при необратимых процессах в сильно неравновесных открытых системах является совместное (кооперативное) движение больших групп молекул. Г. Хакен предложил для таких процессов самоорганизации общий термин “синергетика”. Физическая природа синергетики состоит в том, что в нелинейной области, вдали от равновесного состояния, система теряет устойчивость, и малые флуктуации, возрастающие до больших масштабов, приводят к новому режиму — совокупному движению многих частиц.

Установление самоорганизации в сильно неравновесных системах имеет важнейшее значение для физики, химии и особенно для биологии. Дело в том, что живые организмы и их различные органы представляют собой весьма неравновесные макросисте-

мы, в которых существуют большие перепады концентрации химических веществ, температуры, давления, электрического потенциала.

Это открытие также имеет большое мировоззренческое значение, поскольку указывает путь объяснения стройной организации окружающего нас мира. Синергетика показывает, как законы природы приводят к появлению определенного порядка в неупорядоченных системах, “порядка из хаоса” и затем к усложнению и развитию образовавшихся упорядоченных структур.

М. Эйгеном было показано, как в сложных, сильно неравновесных системах может реализоваться механизм управления самовоспроизведением образовавшихся структур. Развитие нелинейной термодинамики позволяет выдвинуть весьма правдоподобную гипотезу возникновения жизни с точки зрения физики.

Нелинейная термодинамика коренным образом изменяет статус второго начала термодинамики. Действительно, этот закон, как мы видим, определяет не только разрушение структур при необратимых процессах вблизи равновесного состояния, но и возникновение структур при необратимых процессах вдали от равновесия открытой системы. Отражая необратимость всех реальных процессов, второе начало термодинамики выражает таким образом закон развития материи. Такое понимание второго начала термодинамики снимает кажущееся противоречие между этим законом возрастания энтропии (беспорядка в замкнутой системе) и теорией Дарвина о возникновении все более сложных и самовоспроизводящихся структур в живой природе.

Заметим, что дело здесь не только в том, что живая система является открытой, поскольку вместе с внешней средой она образует замкнутую систему, энтропия которой также возрастает при усложнении живой природы. В данном случае речь идет также об установленном Пригожиным универсальном критерии эволюции. Этот критерий является обобщением принципа минимального производства энтропии в нелинейных процессах.

Упорядоченные структуры, возникающие при необратимых процессах в открытых системах вдали от равновесия в нелиней-

ной области, когда параметры систем превышают определенные критические значения, Пригожин назвал диссипативными структурами.

Существуют пространственные, временные и пространственно-временные диссипативные структуры. Рассмотрим некоторые из них.

8.2.1. Пространственные диссипативные структуры

Простейшим примером пространственных диссипативных структур являются ячейки Бенара, обнаруженные им еще в 1900 г. Если горизонтальный слой жидкости сильно подогреть снизу, то между нижней и верхней поверхностями возникнет разность температур $\Delta T = T_1 - T_2 > 0$. При малой разности температур $\Delta T < \Delta T_{кр}$ (ниже некоторого критического значения $\Delta T_{кр}$) подводимое снизу количество теплоты распространяется вверх и жидкость остается неподвижной. Однако при разности температур, выше или равной критическому значению, $\Delta T > \Delta T_{кр}$ в жидкости начинается конвекция: холодная жидкость опускается вниз, а нагретая поднимается вверх. Распределение этих двух противоположно направленных потоков оказывается самоорганизованным, в результате чего возникает система правильных шестиугольных ячеек.

По краям каждой такой ячейки жидкость опускается вниз, а в центре — поднимается вверх.

При разности температур $\Delta T \geq \Delta T_{кр}$ состояние неподвижной теплопроводящей жидкости становится неустойчивым и вместо него наступает устойчивый режим в виде конвекционных ячеек Бенара. Обуславливается это тем, что при большой разности температур покоящаяся жидкость уже не обеспечивает перенос возросшего количества теплоты, и поэтому устанавливается новый конвекционный режим. При переходе от докритического к сверхкритическому режиму спонтанно меняется симметрия системы, что аналогично термодинамическим фазовым переходам. Поэтому переходы в неравновесных системах часто называют кинетическими фазовыми переходами.

Как уже отмечалось, диссипативные структуры возникают лишь в сильно неравновесных системах, состояние которых описывается нелинейными уравнениями для макроскопических величин. Для описания возникновения ячеек Бенара в жидкости используются нелинейные уравнения гидродинамики. При этом применяются критерии неустойчивости решений дифференциальных уравнений, установленные известным математиком А. М. Ляпуновым (1857–1918 гг.). Исследования показывают, что при разности температур $\Delta T \geq \Delta T_{кр}$ решение уравнений гидродинамики, соответствующее покоящейся жидкости и обычной теплопередаче, определяет неустойчивое состояние, и жидкость переходит в новый устойчивый конвекционный режим.

К числу пространственных диссипативных структур принадлежат также кольца Сатурна. Образование этой структуры обусловлено неравновесностью и притяжением к Сатурну вращающегося вокруг него вещества и взаимодействием отдельных частиц вещества между собой.

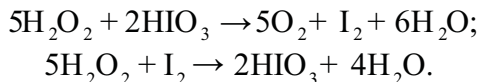
8.2.2. Временные диссипативные структуры

Примером временной диссипативной структуры является химическая система, в которой протекает так называемая реакция Белоусова–Жаботинского. Если система отклонилась от равновесия, но остается к нему близкой, то возвращение к равновесию происходит плавно, без колебаний, по экспоненциальному закону. Если речь идет о стационарном состоянии, близком к равновесному, то отклонившаяся от стационарного состояния система возвращается в это состояние по тому же самому закону.

Но вдали от равновесия, как мы видели, возникают диссипативные пространственные и временные структуры, неравновесный порядок. В ряде случаев такой порядок может состоять в появлении колебаний и волн. Это особенно эффектно выглядит в химических диссипативных системах.

В открытой химической системе, далекой от равновесия, возможны колебания концентрации реагентов. Наблюдается периодическая, химическая реакция в растворе перекиси водо-

рода H_2O_2 , йодноватой кислоты HIO_3 и серной кислоты H_2SO_4 . В реакции происходит периодическое выделение и поглощение йода — соответственно в восстановительной и окислительной реакциях:



Но наиболее удивительное явление — возникновение периодического изменения окраски химического раствора — открыл Б. П. Белоусов в 1951 г. В смеси лимонной кислоты, бромата калия KBrO_3 и сульфата церия $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$, растворенной в разбавленной серной кислоте, наблюдается строго периодическое изменение цвета (красный и синий). Колебания окраски происходят с периодом около 4 мин и продолжаются до тех пор, пока не израсходуются все реагенты, т. е. пока система далека от термодинамического равновесия. В указанном явлении по сути проявляется существование “химических часов”.

Суть описываемого явления заключается в том, что изменение окраски определяется периодическими изменениями концентрации трехвалентного или четырехвалентного иона церия. В упрощенной схеме реакция Белоусова–Жаботинского состоит из двух стадий. На первой стадии трехвалентный ион церия окисляется бромноватой кислотой и превращается в четырехвалентный ион: $\text{Ce}^{3+} \xrightarrow{\text{HBrO}_3} \text{Ce}^{4+}$, а на второй стадии ион Ce^{4+} восстанавливается органическим соединением — малоновой кислотой (МК) снова в трехвалентный ион: $\text{Ce}^{4+} \xrightarrow{\text{МК}} \text{Ce}^{3+}$.

В результате изменения концентрации различных ионов церия наблюдается либо синий (избыток иона Ce^{4+}), либо красный (избыток иона Ce^{3+}) цвет. На рис. 11 показаны колебания концентрации иона четырехвалентного церия.

Существуют также другие нелинейные химические реакции, идущие в тонких слоях, приводящие к образованию пространственно-временных структур, которые имеют вид кольцевых или спиральных волн. Возникновение таких структур в нелинейных химических реакциях связано с локальными флуктуациями концентраций и диффузией реагентов.

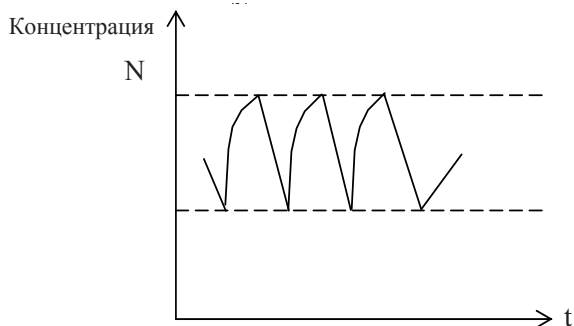


Рис. 11. Колебания концентрации четырехвалентного иона церия Ce^{4+} в реакции Белоусова–Жаботинского

Мы рассмотрели некоторые примеры явлений самоорганизации в неживой природе. Очевидно, что в живой природе процессы самоорганизации происходят гораздо более сложно. Сегодня ясно, что в основе многих биологических явлений находится физика открытых систем, далеких от равновесия.

8.2.3. Химическая основа морфогенеза

В 1952 г. вышла работа Алана Тьюринга (1912–1954 гг.) “О химической основе морфогенеза”. Морфогенезом называется возникновение и развитие сложной структуры живого организма на эмбриональной стадии — возникновение тканей и органов. Тьюринг доказал принципиальную возможность морфогенеза на химической основе.

Сейчас доказано, что морфогенез в природе определяется взаимодействиями молекул и что некоторые вещества — морфогены, функционируя в определенных местах организма в определенные моменты, ответственны за структурообразование. Тьюринг показал, что сопряжение автокаталитической химической реакции с диффузией ведет к оттоку энтропии из системы и к возникновению пространственной и временной упорядоченности.

Живой организм представляет собой чрезвычайно сложную химическую машину, функционирующую при постоянных

температуре и давлении. Источники энергии, необходимые для выполнения многообразных видов работ, в данном случае являются не тепловыми, а химическими. Энергия запасается прежде всего в молекулах аденозинтрифосфата (АТФ).

В живом организме передача, кодирование, передача информационных сигналов в конечном счете всегда осуществляется химическими способами. Сигналами, сообщениями в организме служат молекулы и ионы; источниками, преобразователями и рецепторами сигналов — молекулярные системы.

Так, например, белок — фермент, являющийся катализатором определенной биохимической реакции, — это преобразователь сигнала. Он катализирует превращение одних сигнальных молекул в другие.

Как уже отмечалось, любые виды работы могут производиться термодинамической системой только если имеются различия в параметрах, ответственных за действующие силы. В живом организме все определяется разностями концентраций химических веществ, разностями химических потенциалов. Организм живет на основе тонких и точных химических балансов. Особо важную роль в жизнедеятельности играет сопряжение химических реакций с процессами диффузии. В данном случае для создания разности концентрации ионов внутри и вне клеток используется энергия молекул АТФ.

В настоящее время в синергетике, в физике диссипативных систем физика объединилась с химией и биологией, раскрылся смысл биологического упорядочения, биологического развития. Современная наука уже достаточно хорошо понимает физические основы жизни, физические основы функционирования клеток и организмов, хотя исследования ряда принципиальных вопросов теоретической биологии и биофизики находятся еще в начальной стадии.

Сегодня можно утверждать, что жизнь существует благодаря тому, что существует энтропия, экспорт которой во внешнюю среду поддерживает биологические процессы на всех уровнях — от клеток до биосферы в целом. Нет известных биологических явлений, противоречащих установленным принципам физики.

И напротив, современная физика, и в частности, все, относящееся к закону энтропии, работает в биологии, и нет никакой необходимости оперировать такими далекими от науки понятиями, как “биополе” или “биоплазма”.

8.2.4. Самоорганизация в живой природе

Рассмотрим еще один пример самоорганизации между живыми сообществами; между кроликами и лисами в некой экологической нише. Если в некое пространство с травой, произрастающей в достатке, поместить кроликов, то, поедая траву, они начнут усиленно размножаться. Процесс аналогичен непрерывному подводу тепла (травы) в задаче с ячейками Бенара. Но вот в эту нишу поместили лисиц, которые питаются кроликами и размножаются.

В свою очередь, лисицы, как и кролики, являются жертвами. Лисицы являются жертвами человека, который отстреливает их ради меха.

Конечный продукт нашей сложной реакции — мех — выводится наружу из реакционной зоны. Его можно рассматривать также как носитель энергии, выводимый из системы, к которой энергия была вначале подведена, например, в виде травы.

Таким образом, в экологической системе также существует поток энергии — аналогично тому, как это имеет место в химическом реакторе или биологической системе.

Анализируя этот сложный процесс, мы видим, что в нем есть две автокаталитические стадии (положительная обратная связь), которые играют определенную роль в его самоорганизации. Одна из них — “производство” (рождение) кроликов кроликами, поедающими траву, вторая — рождение лисиц лисицами, поедающими кроликов. Чем больше кроликов имеется, тем больше их рождается при наличии запасов травы. И если бы не было хищных лисиц, это привело бы к их огромной численности. Так произошло в Австралии в середине прошлого века.

Однако возможно такое же автокаталитическое размножение лисиц при большом количестве кроликов. Но это приведет к резкому снижению численности популяции кроликов. А это, в

свою очередь, приведет к уменьшению численности популяции лисиц, так как им для размножения надо поедать кроликов.

Когда численность лисиц упадет, популяция кроликов получит время для восстановления своей численности, что произойдет очень скоро из-за механизма автокатализа. Но после восстановления численности кроликов начнет восстанавливаться численность популяции лисиц, и так далее. Становится ясно, что система самоорганизуется во времени. В действительности будут происходить периодические колебания численности кроликов и лисиц, сдвинутые во времени, т. е. возникнет экологическая структура.

8.2.5. Самоорганизация в неравновесных системах

Исследованием поведения неравновесных систем в точке потери устойчивости или переходов из одной формы саморганизации в другую занимается теория бифуркаций, или теория катастроф.

Слово “бифуркация” означает раздвоение и употребление в широком смысле для обозначения всевозможных качественных перестроек, или метаморфоз, различных объектов при плавном изменении параметров, от которых они зависят.

Катастрофами называют скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий. В результате катастрофы-взрыва система может не только скачкообразно изменить свое состояние, но и разрушиться.

Теория бифуркаций может описывать поведение не только простых, но и очень сложных систем, в частности, таких как экономические, социальные и др.

Рассмотрим простую симметричную бифуркацию, приведенную на рис. 12.

Разберем, как возникает самоорганизация и какие процессы начинают происходить, когда ее порог оказывается превоенным. В равновесном или слабо равновесном состоянии существует лишь одно однородное стационарное состояние А, без какой-либо упорядоченности.

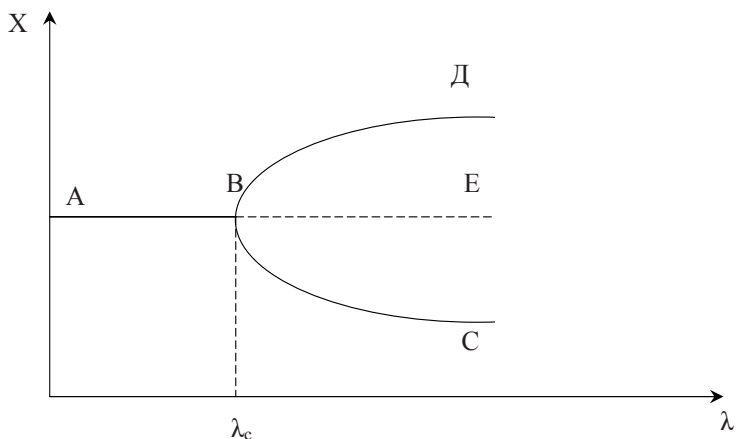


Рис. 12. Пример простой симметричной бифуркации

Пусть X — некоторая главная переменная, например концентрация одного из исходных веществ.

Рассмотрим, как изменяется состояние системы с возрастанием значения управляющего параметра λ (например, концентрации другого вещества, от которого зависит ход реакции). При некотором значении $\lambda = \lambda_c$ система достигает порога устойчивости. Обычно это критическое значение называют точкой бифуркации. В точке B однородное стационарное хаотическое термодинамическое состояние становится неустойчивым относительно флуктуации.

При переходе через критическое состояние λ_c существуют три состояния, в которых может находиться система: два устойчивых — C и D и одно неустойчивое — E . Эта ситуация напоминает бегуна, который, выбежав из дома, достиг пересечения трех дорог. Прямая дорога продолжается через шаткий мостик. Если бегун продолжит путь через мостик, он может потерять устойчивость и упасть на одну из двух твердых дорог.

Возникает естественный вопрос: по какому пути пойдет дальнейшее развитие системы, после того как она достигла точки бифуркации? У системы есть две возможности самоорганизации, соответствующие двум неравномерным распределениям

концентрации X в пространстве, определяемых ветвями С и Д бифуркационной диаграммы (рис. 13)

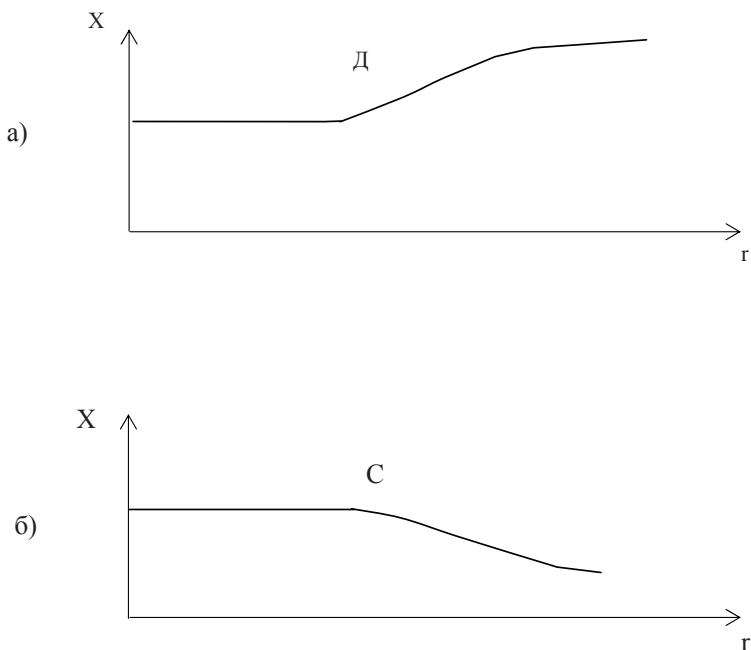


Рис. 13. Бифуркационная диаграмма:
а) — концентрация больше справа; б) слева

Каждое из этих пространственных распределений зеркально симметрично другому. Каким образом система “выбирает” между правой и левой ветвями? В этом выборе неизбежно присутствует элемент случайности. Уравнения не могут предсказать, по какой траектории пойдет эволюция системы. Мы сталкиваемся со случайными явлениями, подобными исходу при бросании игральной кости или монеты. Можно ожидать, что в половине случаев система окажется в одном положении, а в половине — в другом.

Теперь можно предположительно ответить на вопрос о том, почему в живом нарушена симметрия. Все молекулы белка, ДНК,

сахаров и т. д. закручены в левую сторону. Ответ таков, что диссимметрия обусловлена единичным случайным событием. После того как выбор сделан, вступает в действие автокаталитический процесс, и левосторонняя структура порождает новые, только левосторонние структуры.

На рис. 14 показана система, которая может находиться в различных устойчивых и неустойчивых состояниях.

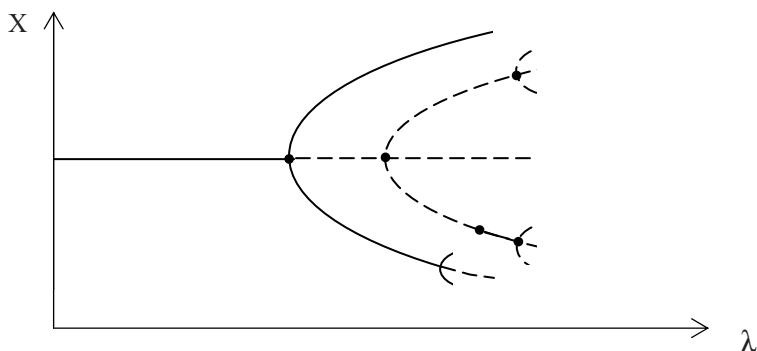


Рис. 14. Устойчивое и неустойчивое состояние системы

Таким образом, в сильно неравновесных системах процессы самоорганизации соответствуют тонкому взаимодействию между случайностью и необходимостью, между флуктуациями и детерминистическими законами. Вблизи бифуркаций основную роль играют флуктуации, тогда как в интервалах между бифуркациями доминируют детерминистские закономерности.

Следует особо подчеркнуть различие между равновесным — статистическим хаосом, который может вызвать лишь небольшие отклонения — флуктуации от состояния равновесия, и хаосом в неравновесных системах, обладающих значительным избытком свободной энергии, называемым динамическим хаосом.

Этот динамический созидающий хаос и служит источником всего того порядка, который мы наблюдаем в окружающем нас мире неживой и живой природы. Так, жизнь на Земле зародилась в сильно неравновесной среде, а возникшие организмы стали жить и эволюционировать, потребляя свободную энергию, по-

ступающую к нам извне, — то есть, в конечном счете, энергию Солнца.

Теория катастроф — это развитие теории особенностей и бифуркаций динамических систем. Хотя сама по себе математическая теория не предотвращает катастрофы, она указывает на некоторые общие черты самых разных скачкообразных изменений режима системы в ответ на плавное изменение внешних условий. Например, устойчивый режим (режим работы реактора, экономический или экологический режим) обычно нарушается, либо сталкиваясь с неустойчивым (причем в момент столкновения скорость сближения бесконечно велика), либо вследствие нарастания (опять бесконечно быстро) самоподдерживающихся колебаний.

Это объясняет, почему так трудно бороться с катастрофой, когда ее признаки сделались уже заметными. Привычные методы линейного управления, при которых результаты пропорциональны усилиям, тут не действуют. Здесь нужно выбирать особые специфические решения, часто основанные на парадоксальных выводах нелинейной теории.

В заключение подведем некоторый итог рассмотрения вопроса о самоорганизации в неживой и живой природе, учитывая, что эта проблема является одной из наиболее актуальных в современном естествознании.

Самоорганизация — это процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы. Процессы самоорганизации могут иметь место только в системах, обладающих высоким уровнем сложности и большим количеством элементов, связи между которыми имеют не жесткий, а вероятностный характер. Основные свойства самоорганизующих систем — открытость, нелинейность, диссипативность. Теория самоорганизации имеет дело с открытыми нелинейными диссипативными системами, далекими от равновесия.

Свойства самоорганизации обнаруживают объекты самой различной природы: живая клетка, организм, биологическая популяция, биогеоценоз, человеческий коллектив и т. д. Процессы

самоорганизации происходят за счет перестройки существующих и образования новых связей между элементами системы. Отличительная особенность процессов самоорганизации — их целенаправленный, но вместе с тем и естественный, спонтанный характер: эти процессы, протекающие при взаимодействии системы с окружающей средой, в той или иной мере автономны, относительно независимы от нее.

Различают три типа процессов самоорганизации. Первый — это самозарождение организации, т. е. возникновение из некоторой совокупности целостных объектов определенного уровня новой целостной системы со своими специфическими закономерностями (пример — генезис многоклеточных организмов от одноклеточных). Второй тип — процессы, благодаря которым система поддерживает определенный уровень организации при изменении внешних и внутренних условий ее функционирования (здесь исследуются главным образом гомеостатические механизмы, в частности механизмы, действующие по принципу отрицательной обратной связи). Третий тип процессов самоорганизации связан с совершенствованием и саморазвитием таких систем, которые способны накапливать и использовать прошлый опыт.

Специальное исследование проблем самоорганизации впервые было начато в кибернетике. Термин “самоорганизующая система” ввел английский кибернетик Уильям Росс Эшби (1903–1972 гг.) в 1947 г. Широкое изучение самоорганизации началось в конце 1950-х гг. в поисках новых принципов построения технических устройств, способных моделировать различные стороны интеллектуальной деятельности человека. Исследование проблем самоорганизации стало одним из основных путей научного признания идей и методов кибернетики, теории информации, теории систем.

В 70-е гг. XX в. начала активно развиваться теория сложных самоорганизующихся систем. Исследования в области нелинейного математического моделирования сложных открытых систем привели к рождению синергетики. Как и кибернетика, синергетика — это некоторый междисциплинарный подход. В отличие

от кибернетики, где акцент делается на процессах управления и обмена информацией, синергетика ориентирована на исследование принципов построения организации, ее возникновения, развития и самоусложнения.

Мир нелинейных самоорганизующихся систем гораздо богаче, чем мир закрытых, линейных систем. Вместе с тем “нелинейный мир” сложнее моделировать. Как правило, для решения (приближенного) большинства нелинейных уравнений, описывающих сложные неравновесные системы, требуется сочетание современных аналитических методов с математическим моделированием.

Синергетика открывает для точного количественного, математического исследования такие стороны мира, как нестабильность, многообразие путей изменения и развития, раскрывает условия существования и устойчивого развития сложных структур, позволяет моделировать катастрофические ситуации и т. п.

Методами синергетики было осуществлено моделирование многих сложных самоорганизующихся систем: от морфогенеза в биологии, от молекулярной физики до формирования общественного мнения и демографических процессов.

Основной вопрос синергетики: существуют ли общие закономерности, управляющие возникновением самоорганизующихся систем, их структур и функций? Такие закономерности существуют. Это — открытость, нелинейность, диссипативность.

8.3. Принципы универсального эволюционизма

Принцип универсального эволюционизма представляет собой одну из доминирующих современных концепций в науке. Сформировавшись в результате обобщения естественнонаучных знаний, он постепенно стал носить общенаучный характер, включающий изучение не только окружающего нас мира природы, но и человеческого общества.

Эволюционная теория, созданная в середине XIX в. Ч. Дарвином, касалась только эволюции в биологии. Затем, уже в XX в., по мере изучения природы на всех уровнях организации материи —

в микро-, макро- и мегамире — выяснилось, что всем уровням присущи эволюционные процессы, приводящие к развитию и совершенствованию всех форм материального мира.

В микромире — это эволюционное формирование первичного элементного состава вещества в результате термоядерного синтеза, последовательное образование в природе всех элементов таблицы Менделеева. В микромире выявлены также процессы самоорганизации и эволюции химических молекулярных систем.

На макроуровне обнаружен и исследован целый ряд неживых систем, эволюционно развивающихся в направлении все большей организации. В живой природе развитие органического мира происходит в соответствии с эволюционной теорией Дарвина.

Процессы в мегамире определяются эволюционной теорией расширяющейся Вселенной. История развития Земли, последовательность образования геосферных оболочек в настоящее время также рассматриваются на основе эволюционной теории.

Все эти частные эволюционные теории приводят к утверждению и обоснованию всеобщей концепции универсального эволюционизма.

Ниже более подробно остановимся на упомянутых частных эволюционных теориях, чтобы уяснить важность этой концепции в общенаучном плане.

8.3.1. Микромир. Формирование элементного состава вещества материи

На основе достижений ядерной физики в первой половине прошлого века удалось понять механизм образования химических элементов в природе. В 1946–1948 гг. Г. Гамов разработал теорию образования химических элементов на основе термоядерного синтеза. В дальнейшем эта теория нашла блестящее экспериментальное подтверждение.

Согласно этой теории существующие в природе химические элементы образовались в результате длительной эволюции от Большого взрыва до наших дней. Эволюция химического состава в природе связана со звездообразованием и эволюцией звезд.

На первом этапе происходило образование атомов нейтрального водорода из возникших во время Большого взрыва электронов и протонов — первых частиц вещественной материи. Второй этап — это образование из рассеянного в космосе водородного газа под действием гравитации все более уплотняющихся сгустков водородного вещества. Постепенное возрастание давления внутри сжимающегося облака в соответствии с физическими законами приводит к росту температуры. И при температуре порядка 10^7 К происходит термоядерный водородный синтез.

Еще в 1939 г. физик-теоретик Ганс Бете (1906–2005 гг.) разработал теорию двух циклов ядерных реакций, идущих в недрах звезд: протон-протонный и углеродный цикл.

Первый цикл идет по схеме:



где p — протон;

D — ядро изотопа водорода — дейтерия;

${}^3\text{He}$ — ядро изотопа гелия;

${}^4\text{He}$ — ядро атома гелия.

Конечным результатом этой последовательности реакций, которая называется протон-протонной цепочкой, или водородным циклом, является превращение четырех ядер атомов водорода в одно ядро атома гелия. То есть в этом случае для протекания реакции требуется только водород.

Другой цикл ядерных реакций — углеродный — требует наличия еще и углерода, служащего катализатором процессов всего дальнейшего ядерного синтеза.

Углерод в звездах образуется следующим образом. После того как в результате слияния четырех ядер водорода и образования одного ядра атома гелия постепенно “выгорает” весь водород, ядро звезды составляет один гелий. Затем сжатие гелиевого ядра звезды приводит к дальнейшему повышению его температуры. С повышением внутренней температуры в термоядерные реакции включаются все более тяжелые ядра, и в результате реализуется синтез всех химических элементов.

После водородных реакций начинается реакция слияния ядер гелия, которая происходит при температурах свыше 150 млн К.

Изучение реакций синтеза ядер гелия показало, что слияние двух ядер ${}^4\text{He}$ приводит к появлению неустойчивых ядер изотопа бериллия ${}^8\text{Be}$, а слияние трех ядер ${}^4\text{He}$ ведет к появлению устойчивого ядра изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$.

На следующем этапе в результате слияния ядер изотопов ${}^{12}\text{C}$ и ${}^4\text{He}$ образуется ядро изотопа кислорода ${}^{16}\text{O}$, который, присоединяя ядро ${}^4\text{He}$, образует ядро изотопа неона ${}^{20}\text{Ne}$, и т. д.

Таким образом при ядерных реакциях в звездах за время их жизни нарабатывается определенное количество различных элементов. Эти элементы в ряде случаев после угасания звезд рассеиваются в пространстве и тем самым изменяют состав межзвездного газа. Вновь образовавшиеся уже из другого по составу межзвездного вещества звезды имеют другие исходные условия для протекания в них термоядерных реакций, и этот процесс формирования химических элементов веществ в природе происходит непрерывно.

Современные астрофизические исследования спектров звезд позволили установить их химический состав. Оказалось, что полученные временные ряды звезд разных поколений и разного элементного состава согласуются с рассмотренной теорией. Имеются звезды, состоящие в основном только из водорода и гелия (где реализуется только протон-протонный термоядерный цикл), а также звезды с относительно большим содержанием более тяжелых элементов таблицы Менделеева (в соответствии с углеродным циклом).

8.3.2. Микромир. Химическая эволюция на молекулярном уровне

До возникновения жизни на Земле в течение около 2 млрд лет происходила химическая эволюция неживой (косной) материи. В соответствии с фундаментальными физическими законами, касающимися различных форм движения материи, таких как тепловая, механическая, электромагнитная и т. д., в результате соударений различных атомов образовывались различные химические соединения. Между ними образовались химические связи и возникали новые устойчивые молекулярные системы.

Иными словами, происходили химические реакции, и постепенно появилось огромное разнообразие молекул. В результате последующих химических реакций образовывались все более сложные химические вещества с более высокой организацией, по сравнению с исходными веществами.

Очевидно, что из первичной смеси частиц могут образовываться самые разнообразные упорядоченные структуры (конечные продукты), но преимущественно распространение получают те, для которых скорость процесса образования превышает скорость распада, т. е. наблюдаются конкуренция образовавшихся структур и отбор наиболее устойчивых.

На определенном уровне развития микросистемы возникают автокаталитические процессы, благодаря которым повышается качественный уровень обратных связей. Случайно появившаяся молекула катализатора начинает управлять ходом химического процесса и воспроизводить подобные себе молекулы. Этот процесс уже носит упорядоченный характер и осуществляется под воздействием возникших ранее факторов. Безусловно, при воспроизводстве вещества, вследствие действия изменяющихся внешних факторов, возможны сбои и случайные искажения структур, в результате чего появляются вещества-мутанты. Благодаря этому автокаталитический процесс может пойти по другому пути или же возникнет множество автокаталитических процессов, конечным продуктом которых является одно и то же вещество. Как и в случае простейших химических реакций, здесь наблюдается конкуренция различных автокаталитических процессов, исход которой определяют скорость синтеза и энергетика.

В процессе химической эволюции геосферы таким путем происходило образование вначале неорганических (солей, оксидов и др.), а затем и органических соединений. В процессе стратификации вещества геосферы при отвердевании расплавов, выпаривании перенасыщенных растворов солей или под действием высоких давлений в глубинах земной коры происходила упаковка некоторых неорганических соединений в геометрически правильные упорядоченные структуры — кристаллы.

Органические кристаллы (а к ним относится большинство биополимеров) образовались в результате эволюции органических молекул.

По некоторым оценкам, сегодня насчитывается около 300 тыс. неорганических и 6 млн органических соединений, созданных природой. Основу органики составляют всего шесть элементов — органогенов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера. Их доля в структуре органических соединений составляет 97%.

В основу органики природа заложила углерод, химические связи которого образуют остов молекул. Углерод по сравнению с другими химическими элементами обладает уникальными возможностями: образует как ковалентные, так и ионные (в металлоорганических соединениях) связи, которые легко активируются и в то же время достаточно прочны. Разнообразие классов органических соединений обусловлено способностью углерода к образованию одно-, двух-, трех-, четырех- и шести-электронных связей.

Появление автокаталитических реакций и повышение уровня информационных связей увеличило скорость упорядочения материи и образования все более сложных, информационно насыщенных соединений. Однако при синтезе таких сложных образований, как белки, нуклеиновые кислоты, ферменты, природа “использовала” далеко не все имеющиеся в ее арсенале простые органические соединения. Например, для построения белков из ста аминокислот используется всего лишь двадцать.

Автокаталитические системы со временем становятся основой простейших самоорганизующихся биохимических систем. Появляется циклическая организация процессов. Первичная химическая реакция дает продукт, который становится исходным для последующей реакции и в то же время является катализатором первой реакции и управляет ее развитием. С реакцией второго уровня происходит аналогичный процесс. Над первым циклом как бы надстраивается второй и управляет первым. Конечный продукт второго цикла становится исходным продуктом для третьего, и т. д.

Процессы, протекающие на вышележащем уровне, управляют процессами нижележащего уровня. Создается пирамида (иерархия) циклов, управление которыми осуществляется по принципу обратной связи. Такую структуру М. Эйген назвал гиперциклом. В гиперцикле, как и в одиночной автокаталитической реакции, возможно появление мутантов, но благодаря конкуренции выживают оптимальные с точки зрения фундаментальных законов природы организмы. Они и составляют биохимическую основу более сложных структур.

По этому принципу развивается большинство биохимических реакций. Ученые предполагают, что этот механизм лежал в основе перехода от косной материи к примитивному самовоспроизводящемуся (живому) веществу, а период формирования иерархических самоуправляющихся автокаталитических циклов называют ранним этапом предбиологической эволюции вещества.

По всей вероятности, образование циклов и их организация в гиперциклы, как и вообще самоорганизации систем, были необходимым этапом эволюции материи и перехода от косного к живому веществу.

В 1960-х гг. была разработана теория химической эволюции, в основу которой были заложены идеи самоорганизации и саморазвития каталитических систем и самосовершенствования катализаторов в процессе синтеза.

8.3.3. Макромир. Эволюция живой материи

На основе данных археологии, палеонтологии и антропологии Ч. Дарвин доказал, что все многообразие живых организмов сформировалось в процессе длительной эволюции из более примитивных форм. Развитие генетики полностью подтвердило основные положения учения Дарвина о естественном отборе как об основном механизме развития мира животных и растений. Естественный отбор в природе обеспечивает протекание процесса эволюции в определенном направлении, а именно, в направлении все большего разнообразия и усложнения всех форм

живой материи — от простейших до самых высокоорганизованных, включая человека.

8.3.4. Самоорганизация и развитие неживой материи

В последнее время все большее внимание ученых привлекает концепция саморазвития в неживой природе. Сейчас известно уже много случаев саморазвития и эволюции природных систем, когда беспорядочное поведение системы вдруг обретает порядок.

Из хаотического теплового движения молекул “вдруг” возникают турбулентные вихри. Из неупорядоченных движений атомов и молекул в атмосфере “вдруг” возникает направленное движение воздуха — ураганы. Из лишнего структуры скопления достаточно простого по своему составу межзвездного вещества (из водорода и гелия) рождаются звезды, производящие в своих недрах более сложные химические элементы, и т. д.

Такое поведение систем находит объяснение в рамках принципиально нового направления теоретической физики — нелинейной, неравновесной термодинамики. Современная теория нелинейных динамических систем указывает механизмы, приводящие от беспорядка к порядку, лежащие в основе творчества природы. Происходит все более глубокое понимание процессов, когда при определенных условиях в системе, состоящей из хаотично расположенных неупорядоченных частей, возникает новая структура, обладающая определенным временным или пространственным порядком. Примером самоорганизации служат диссипативные структуры, в частности, возникающие в химической реакции Белоусова–Жаботинского. Эти примеры могут служить основой понимания не только рассмотренных процессов в неживой природе, но и вопросов возникновения и развития жизни, развития общества, кризисов в экономике и т. д.

После открытия законов самоорганизации самоупорядочение сложных систем можно рассматривать как фундаментальное свойство природы.

8.3.5. Мегамиры. Идея развития Вселенной

Еще менее ста лет назад господствовала точка зрения об однородной, стационарной, бесконечной во времени и в пространстве Вселенной. Однако после создания Эйнштейном общей теории относительности стала утверждаться и развитая на этой основе Фридманом математическая модель нестационарной Вселенной. Вскоре Хабблом было экспериментально доказано, что Вселенная находится в состоянии расширения.

Дальнейший существенный прогресс в космологии и астрофизике, как это ни кажется парадоксальным, произошел в результате огромного прорыва в области исследования атомного ядра и физики элементарных частиц. Понимание квантовой природы законов ядерной физики привело к открытию принципиально новых квантовых состояний материи, к установлению превращения различных форм материи друг в друга. В частности, аннигиляция — превращение частиц вещества (при взаимодействии электронов и позитронов, частиц и античастиц) в кванты полей (фотоны и т. п.), с одной стороны; рождение парами частиц вещества и антивещества в результате взаимодействия квантов поля — с другой.

Развитие ядерной физики позволило совершенно с иных позиций подойти к рассмотрению вопроса о происхождении Вселенной.

С середины прошлого века в космологии стала все больше утверждаться идея так называемой “горячей”, расширяющейся Вселенной.

В последующие годы в астрофизике был получен целый ряд новых экспериментальных подтверждений этой точки зрения. Прежде всего это открытие так называемого реликтового излучения, что явилось веским подтверждением того, что наша Вселенная имела начало и историю своего эволюционного развития.

Согласно современной теории она образовалась 15–20 млрд лет назад из единственного существовавшего в то время вида материи — определенного квантового состояния поля — “физического вакуума”. В результате флуктуации этого поля возник-

ли первые частицы будущего материального мира: электроны, протоны, фотоны, нейтрино. Дальнейшая эволюция этих первых компонентов материи привела через звездообразование к появлению существующих химических элементов и всего того материального мира, который сформировался к настоящему времени в природе на различных уровнях организации материи.

8.4. Концепции эволюционного естествознания

Из краткого анализа процессов в микро-, макро- и мегамире видно, что на всех уровнях доминирующими являются идеи эволюции, идеи развития. Это нашло отражение в понятии глобального эволюционизма, в концепции универсального эволюционизма.

За последние десятилетия в лоне каждой науки сформировался “свой” эволюционизм, в котором развитие специфических систем (Вселенной, химических элементов, Земли, биосферы), рассматривалось через призму конкретно-научных знаний. Синтез современного естественно-научного знания обусловлен необходимостью построения новой научной картины мира, дающей целостное (а не фрагментарное) представление о мире, о взаимодействии разных его уровней (микро-, макро- и мегамира), о материальных системах различной природы (живой, неживой) и об универсальных законах эволюции.

К настоящему времени выявлен ряд важнейших внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на эволюцию природных систем. К их числу относятся: открытость, нелинейность, неравновесность, неконтролируемость воздействия и т. п. В качестве основополагающей была выдвинута концепция коэволюции, согласно которой природная система и ее окружение эволюционируют совместно, поддерживая существование друг друга.

Во всех процессах, имеющих место во Вселенной, неизбежно присутствуют случайные факторы, влияющие на ее развитие, и все эти процессы протекают в условиях некоторого уровня неопределенности.

Принципы отбора допускают существование бифуркационных состояний, т. е. состояний, из которых даже в отсутствие случайных факторов возможен переход материального объекта в целое множество новых состояний. В бифуркационном состоянии дальнейшая эволюция оказывается принципиально непредсказуемой, поскольку новое русло эволюционного развития будет определяться прежде всего теми неконтролируемыми, случайными факторами, которые будут действовать в системах.

Другой основополагающей концепцией является концепция “стрелы времени”, специфической для каждой природной системы. Она позволяет охарактеризовать направление необратимой эволюции этой системы: ее рождение, жизнь и гибель.

К числу важнейших концепций эволюционного естествознания, разработанных в биологии, относится обобщенная триада — изменчивость, наследственность, естественный отбор.

Существенную роль в эволюционных представлениях играет концепция самоорганизации в хаосе, т. е. возникновение упорядоченных структур вдали от равновесия, когда, как привило, имеет место спонтанное нарушение симметрии.

Важным является также понятие сложности и иерархической соподчиненности природных систем. Исследование проблем возникновения неустойчивости системы позволяет понять роль симметрии в появлении режима динамического хаоса.

Приведенные основные идеи дают представление о сущности универсального эволюционизма. Фундаментальные физические и биологические теории связаны в своей основе с общеприродным единством, и вполне естественным является стремление обобщить их на всю окружающую природу. В целом же универсальный эволюционизм означает, что наша Вселенная, в силу связи всех ее составляющих, — некая единая система; ее эволюция представляет собой рост разнообразия форм материальной организации, вводимого в определенные рамки и ограничиваемого тенденцией к единству и кооперативности. Универсальный эволюционизм — попытка построения общепланетарной теории исследования природных процессов в свете их космического единства. Можно сказать, что процесс

самоорганизации природных систем заключается в обретении ими все более и более совершенного динамического равновесия с окружающей средой.

Стержнем универсального эволюционизма является схема, отражающая сквозную линию развития от низших форм движения к высшим. Эта сквозная линия допускает развитие, усложнение и усовершенствование, вследствие чего процессы и явления природы могут рассматриваться с некоторых единых позиций.

Идеи универсального эволюционизма обладают значительной гибкостью и могут принимать самые разные очертания. Эволюционизм существует в виде огромного количества вариантов и версий. Идеи эволюционизма представляют собой “каркас” для целого спектра различных по существу представлений о мире.

В настоящее время все настоятельнее проявляется естественное желание использовать физические принципы становления и развития неживой и живой природы и идеи синергетического подхода для описания поведения сложных неравновесных самоорганизующихся систем, для решения проблем гуманитарных наук.

Новая мировоззренческая парадигма, основанная на представлениях синергетики, устраняет различия между естествознанием и обществоведением и дает возможность создать универсальную эволюционно-синергетическую картину мира. Понятия синергетики и аппарат нелинейного мышления превращают изначально гуманитарно-интуитивные методы описания социальных, экономических, психологических, исторических и других объектов и систем из описательных в научно обоснованные (прогнозируемые).

Перспективы развития человечества при этом основываются на возможности эволюции перехода материи от более вероятных хаотических состояний к менее вероятным, но реально возможным и более организованным упорядоченным состояниям.

В рамках физического представления синергетических моделей цивилизация в целом и конкретное общество являются сложными неравновесными системами, устойчивость которых

обеспечивается взаимодействием внешних и внутренних причин развития. Совокупность механизмов, включающих орудия и другие материальные объекты, языки, мифологию, мораль и т. д., то есть то, что представляет собой понятие культуры, также может быть выражена в таких параметрах целостного эволюционного развития самоорганизующихся систем, как нелинейность процессов, бифуркация отдельных фаз развития и эволюционные катастрофы.

Современное естествознание становится, по существу, постнеклассической интегративной наукой, в которой в первую очередь должны использоваться достижения новой, синергетической физики. При этом наблюдается тенденция перехода от собственно познавательной сущности науки к научному методу решения проблем экономического, социального, политического и культурного характера и обоснованного прогнозирования будущего развития.

Можно привести большое количество примеров, подтверждающих, что синергетические модели современной постнеклассической физики применяются к сложным гуманитарным системам в истории цивилизаций, возникновении этносов, самоорганизации социально-экономических процессов, возникновении кризисов развития человеческого общества.

В связи с этим в анализе сложных систем значительно возрастает роль физических и математических моделей и в целом моделирования процессов различной природы, рассмотрения конфликтных ситуаций и принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие / В. В. Горбачев. — М.: Оникс 21 век; Мир и образование. 2003.

Добровольский В. В. Геология: Учебник / В. В. Добровольский. — М.: Владис, 2001.

Концепции современного естествознания: Учебник / Под ред. В. Н. Лавриненко. — М.: ЮНИТИ, 1999.

Коровин Н. В. Общая химия: Учебник / Н. В. Коровин. — М.: Высшая школа, 2000.

Мамонов Г. С. Общая биология: Учебник / Г. С. Мамонов, В. Б. Захаров. — М.: Высшая школа, 2003.

Трофимова Т. И. Краткий курс физики: Учебник / Т. И. Трофимова. — М.: Высшая школа, 2000.

Хрисанфова Е. Н. Антропология / Е. Н. Хрисанфова, И. В. Перевозчиков. — М.: Изд-во МГУ, 1999.

Дополнительная литература

Арнольд В. И. Теория катастроф / В. И. Арнольд. — М.: Наука, 1990.

Аксенов Г. П. Причина времени / Г. П. Аксенов. — М.: УРСС, 2001.

Бааде В. Эволюция звезд и галактик / В. Бааде. — М.: УРСС, 2002.

Биологический энциклопедический словарь — М., 1989.

Вернадский В. И. Научная мысль как планетарное явление / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1991.

Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1989.

Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1988.

Вигнер Э. Инвариантность и законы сохранения / Э. Вигнер. — М.: УРСС, 2002.

Вишневский И. Л. Энтропия в природе и обществе / И. Л. Вишневский, А. Н. Лашер, И. В. Салли. — М., 1994.

Волькенштейн М. В. Биофизика / М. В. Волькенштейн. — М.: Наука, 1988.

Введение в биоэтику: Учеб. пособие. — М.: Прогресс-Традиция, 1998.

Галимов Э. М. Феномен жизни / Э. М. Галимов. — М.: УРСС, 2001.

Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое / В. Гейзенберг. — М., 1989.

Заренков Н. А. Теоретическая биология / Н. А. Заренков. — М.: Изд-во МГУ, 1988.

Капица С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. — М.: Наука, 1997.

Кузнецова Н. И. Возникновение науки. Философия и методология науки / Н. И. Кузнецова. Ч. 1. — М.: Аргус, 1994.

Кузнецов В. И. Общая химия / В. И. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 1989.

Кузнецов В. И. Естествознание / В. И. Кузнецов, Г. М. Идлис, В. Н. Гитна. — М.: Агар, 1996.

Купер Л. Физика для всех в двух томах / Л. Купер. — М., 1973.

Кун Т. Структура научных революций / Т. Кун. — М.: Наука, 1990.

Моисеев Н. Н. Универсальный эволюционизм // Вопросы философии. — 1991. — № 3.

Найдыш В. М. Концепции современного естествознания / В. М. Найдыш. — М.: Гардарики, 1999.

Небель Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир / Б. Небель. — М.: Мир, 1993.

Недельский Н. Ф. Концепции современного естествознания / Н. Ф. Недельский, Б. И. Олейников, В. Ф. Тулинов. — М.: МУПК, 1996.

Новиков И. Д. Эволюция Вселенной / И. Д. Новиков. — М.: Наука, 1990.

Пахомов Б. Я. Становление современной физической картины мира / Б. Я. Пахомов. — М., 1985.

Пригожин И. Время, хаос, квант / И. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Мир, 2000.

Пригожин И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. — М.: УРСС, 2002.

Рейнбах Г. Направление времени / Г. Рейнбах. — М.: УРСС, 2003.

Риккерт Г. Науки о природе и науки о культуре / Г. Риккерт. — М.: Республика, 1998.

Силлин А. А. Энтропия, вероятность, информация // Вестник РАН, 1994. Т. 64. № 6.

Сингер М. Гены и геномы / М. Сингер, П. Берг. В 2 тт. — М.: Мир, 1998.

Соломатин В. А. История и концепции современного естествознания / В. А. Соломатин. — М.: Персей, 2002.

Спасский Б. И. Физика для философов / Б. И. Спасский. — М., 1989.

Фейнберг Е. Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке / Е. Л. Фейнберг. — М.: Наука, 1992.

Философские проблемы естествознания / Под ред. С. Т. Мелюхина. — М.: Высшая школа, 1985.

Философия и методология науки. — М.: Аспект Пресс, 1996.

Философский энциклопедический словарь — М., 1991.

Физический энциклопедический словарь — М., 1995.

Хокинг С. Краткая история времени. От Большого взрыва до черных дыр. — СПб.: Амфора, 2000.

Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. — М.: Мир, 1980.

Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул / М. Эйген. — М.: Мир, 1973.

Югай Г. А. Общая теория жизни / Г. А. Югай. — М.: Мысль, 1995.

Яблоков А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М., 1998.

НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:

1. Дипломы, курсовые, рефераты...
2. Диссертации и научные работы.

Тематика любая:

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ, экономика,
техника, право, менеджмент, финансы,
биология...

Уникализация текстов, переводы с
языков,
презентации...

**УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ,
ДИССЕРТАЦИИ:**

полные тексты в электронной
библиотеке

www.учебники.информ2000.рф.

Главный редактор — *А. Е. Илларионова*
Редактор — *Н. П. Яшина*
Художник — *В. А. Антипов*
Верстка — *Н. А. Кирьянова*
Корректор — *С. М. Паскевич*

Ответственный за выпуск — *А. Ф. Пилунова*

Учебное издание

Тулинов Владимир Филиппович
Тулинов Константин Владимирович

Концепции современного естествознания

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.007399.06.09 от 26.06.2009 г.

Подписано в печать 18.12.2009. Формат 60×84 1/16.
Печать офсетная. Бумага газетная. Печ. л. 30,25.
Тираж 2000 экз. (1-й завод 1 – 1000 экз.). Заказ №

Издательско-торговая корпорация “Дашков и К^о”
129347, Москва, Ярославское шоссе, д. 142, к. 732.
Для писем: 129347, Москва, п/о И-347
Тел./факс: 8(499) 182-01-58, 182-11-79, 183-93-01.
E-mail: sales@dashkov.ru — отдел продаж;
office@dashkov.ru — офис;
[Ahttp://www.dashkov.ru](http://www.dashkov.ru)

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных диапозитивов
в ФГУП “Производственно-издательский комбинат ВИНТИ”,
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403. Тел.: 554-21-86