

А. А. ГОРЕЛОВ

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Допущено

*Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по гуманитарным направлениям и специальностям*

5-е издание, переработанное и дополненное



Москва

Издательский центр «Академия»

2010

УДК 5(075.8)
ББК 20я73
Г687

Рецензенты:

старший научный сотрудник биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,
кандидат биологических наук *А. С. Лукьянов*;
зав. лабораторией эволюционной эпистемологии Института философии Российской академии наук, доктор философских наук *И. П. Меркулов*

Горелов А. А.

Г687 Концепции современного естествознания : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. А. Горелов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 512 с.
ISBN 978-5-7695-6579-3

В учебном пособии представлен курс «Концепции современного естествознания», недавно введенный в систему преподавания в высшей школе. В нем рассматривается специфика естественно-научного познания, его роль в развитии культуры, рассказывается об основных идеях современной науки и главных теориях XX в. Помимо лекционного курса в конце каждого раздела предлагаются вопросы для повторения и упражнения, призванные облегчить усвоение непростого для студентов-гуманитариев естественно-научного материала. Это издание переработано в соответствии с последними достижениями в науке.

Для студентов высших учебных заведений. Будет полезно всем интересующимся концепциями современного естествознания.

УДК 5(075.8)
ББК 20я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Горелов А. А., 2006

© Горелов А. А., 2010, с изменениями

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-6579-3 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Концепции современного естествознания» — новый предмет в системе высшего образования. Прежде чем приступить к изложению этой дисциплины, зададим себе вопросы: «Насколько широко должен быть эрудирован человек, работающий в определенной, довольно узкой области знаний? В какой мере он должен быть в курсе современных представлений об окружающем мире?».

«В наши дни ни один человек не может считаться образованным, если он не проявляет интереса к естественным наукам. Обычное возражение, согласно которому интерес к изучению электричества или стратиграфии мало что дает для познания человеческих дел, только выдает полное непонимание человеческих дел. Дело в том, что наука — это не только собрание фактов об электричестве и т. п.; это одно из наиболее важных духовных движений наших дней. Тот, кто не пытается понять это движение, выталкивает себя из этого наиболее знаменательного явления в истории человеческой деятельности... И не может быть истории идей, которая исходила бы историю научных идей»¹.

Наука — это не только совокупность знаний. «Науке можно учить как увлекательнейшей части человеческой истории — как быстро развивающемуся росту смелых гипотез, контролируемых экспериментом и *критикой*. Преподаваемая таким образом, т. е. как часть истории “естественной философии” и истории проблем и идей, она могла бы стать основой нового свободного университетского образования, целью которого (там, где оно не может готовить специалистов) было бы готовить по крайней мере *людей, которые могли бы отличить шарлатана от специалиста*»².

Итак, для чего же нужно изучать современное естествознание? Во-первых, не имея представления о теории относительности, генетике, синергетике, социобиологии, экологии, этологии и других науках, невозможно стать культурным человеком. Во-вторых, это важно потому, что многое в нашей жизни строится в соответствии с научной методологией. И хотя человечеству далеко

¹ Понпер К. Открытое общество и его враги: в 2 т. — 1992. — С. 327—328.

² Там же. — С. 328.

до научной организации труда, научные принципы лежат в основе многих видов деятельности, и их надо знать, чтобы использовать. В-третьих, потому, что знания, необходимые любому специалисту, так или иначе связаны и в какой-то степени основаны на научных данных. Этих причин достаточно для обоснования важности нового курса.

Основной задачей курса является формирование у студентов целостного систематизированного представления о концепциях современного естествознания как одном из наиболее важных разделов науки XX в.

Изучение курса «Концепции современного естествознания» дает возможность понять, что такое современное естествознание; овладеть научным методом; стать всесторонне образованным, культурным человеком, разбирающимся в сущности глобальных, в том числе экологических, проблем, стоящих в настоящее время перед человечеством.

Учитывая, что данный курс предлагается студентам гуманитарных вузов, обычно мало знакомым с естествознанием и испытывающим известные трудности при подготовке к экзамену и зачету, следует обратить особое внимание на наиболее сложные его моменты и в то же время сделать изложение простым и доступным.

Теперь разберемся в словах, которые составляют название предмета. Результатами научных исследований являются теории, законы, модели, гипотезы, эмпирические обобщения. Все эти понятия можно объединить словом «концепции». *Естествознание называется раздел науки, который изучает мир, как он есть, в его естественном состоянии, независимо от человека (в отличие от гуманитарных наук, изучающих духовные продукты человеческой деятельности, и технических наук, изучающих материальную культуру).* К современному естествознанию относятся концепции, возникшие в XX в. Наука бурно прогрессирует, и научные открытия совершаются на наших глазах. Пока пишутся и читаются эти строки, кто-то, как некогда Архимед, восклицает: «Эврика!». Так, в апреле 1994 г. появилось сообщение американских ученых, что открыт последний, самый тяжелый из кварков — частиц, из которых состоят все тела Вселенной. А еще совсем недавно это было всего лишь одной из научных гипотез.

Современными можно считать не только последние научные данные, но и те, на которых основывается современная наука, поскольку наука состоит не из отдельных, мало связанных между собой теорий, а представляет собой единое целое и включает в себя знания, ставшие достоянием человека в разное время его истории.

Для того чтобы значение и строение современных концепций естествознания было понято, необходимо прежде выяснить, что

такое наука в целом, каковы ее история, структура, динамика. Об этом пойдет речь в первых разделах пособия. Затем мы перейдем к отдельным естественным наукам — астрономии, физике, биологии и т. д. Данная книга соответствует программе курса «Концепции современного естествознания», но для более глубокого изучения предмета необходимо прочитать книги, список которых приведен в конце пособия.

В приложении даны темы контрольных работ и докладов на семинарах, темы для подготовки к зачетам и экзаменам, план ответов на вопросы зачетов и экзаменов, а также календарь открытий.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ЧАСТЬ I

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Глава 1

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Связь науки и техники в современном мире

Мы живем в эпоху научно-технической революции (НТР). Этим понятием подчеркивается огромное значение науки и техники в нашей жизни. Но так было не всегда. Зачатки науки и техники появились еще в

глубокой древности, но развивались они обособленно друг от друга. Древние греки, например, создав одну из замечательных культур, старались познать природу, но тяжелую работу у них выполняли рабы, а не созданные на основе научного прогресса машины.

Только в Новое время в западной культуре «отношение человека к природе превращалось из созерцательного в практическое. Теперь уже интересовались не природой как она есть, а прежде всего задавались вопросом, что с ней можно сделать. Естествознание поэтому превратилось в технику. Точнее, оно соединялось с техникой в единое целое»¹.

Техника в целом — это совокупность усилий, направленных на то, чтобы справиться с природной, а также антропогенно преобразованной средой. Техника — не просто машины, а систематический, упорядоченный подход к объектам с применением математического аппарата и различных экспериментальных процедур.

В книге В. Феркиса «Технологический человек. Миф и реальность» утверждается, что современные физиология, психология, эволюционная биология и антропология, взятые вместе, доказывают, что нельзя проводить различие между *Homo sapiens* и *Homo faber*, человеком-мыслителем и человеком-делателем. Сегодня мы осознали, что *человек не мог бы стать мыслителем, если бы он не был в то же самое время делателем*. Человек создал орудия, но и орудия создали человека.

Тесная связь между наукой и техникой, отражающаяся в самом термине «научно-техническая революция», облегчается тем

¹ Гейзенберг В. Шаги за горизонт. — М., 1987. — С. 21.

обстоятельством, что, как отметил Б. Рассел, мир техники в широком смысле имеет ту же рациональную структуру, что и идеальный мир науки. Техника исходит из науки, а последняя руководствуется техникой.

Эта связь между наукой и техникой, постоянно усиливающаяся, особенно в западной культуре, привела в середине XX в. к созданию качественно новой системы, породившей принципиально новую ситуацию на всей нашей планете. Осознание этой реальности — процесс, который еще далек от своего завершения.

Итак, современная наука имеет две основные функции — познавательную и практическую. Люди занимаются наукой как для раскрытия тайн и загадок природы, так и для решения практических задач. Наука позволяет удовлетворить потребность человека в познании существенных связей окружающего мира. Познавательная функция имеет самостоятельное значение, хотя зачастую и определяется особенностями и запросами практики в широком смысле слова.

Определение НТР

Современный этап научно-технического прогресса — эпоха НТР — это коренное преобразование производительных сил общества на основе превращения науки в ведущий фактор развития общественного производства и всей жизни общества (именно «коренное», почему и употребляется слово «революция»). Наука превращается в непосредственную производительную силу, тесно переплетается с техникой и производством (отсюда и научно-техническая революция), и это изменяет весь облик общественного производства, условия, характер и содержание труда, структуру производительных сил, оказывает воздействие на все стороны жизни.

В подготовке НТР, которая явилась закономерным следствием научно-технического прогресса (НТП) последних веков, большое значение имели открытие сложной структуры атома, явления радиоактивности, создание теории относительности, квантовой механики, генетики, кибернетики, широкое применение электричества, расщепление атомного ядра, развитие средств массовой информации и коммуникации, создание реактивной техники, механизация и автоматизация производства. Многое из того, что сейчас стало для нас обычным — автомобиль, самолет, радио, телевидение, — является продуктом научно-технического прогресса, подготовившего в первой половине XX в. современную научно-техническую революцию.

Но собственно об НТР заговорили в середине XX в. в связи с созданием атомной бомбы. Использование атомной энергии имело огромный психологический эффект — люди убедились в колоссальных возможностях науки, не только созидательных, но и

разрушительных. Государства и частные инвесторы стали ассигновывать на науку огромные средства, начался стремительный рост числа научно-исследовательских институтов. Научная деятельность стала распространенным занятием.

Выход человека в космос стал следующей важной вехой научно-технической революции, знаменуя собой становление космической цивилизации.

Символом НТР признаны электронно-вычислительные машины, в том числе персональные компьютеры, — принципиально новый вид техники, которому человек постепенно передает логические функции. В перспективе предполагается перейти к комплексной автоматизации производства и управления.

Можно также отметить широкое применение в эпоху НТР искусственных, прежде всего химических, материалов с заранее заданными свойствами, развитие электронного приборостроения, биотехнологии, так называемой «зеленой революции» в сельском хозяйстве — повышение урожайности многих видов растений вследствие применения минеральных удобрений и пестицидов и т.п.

Главные направления НТР — комплексная автоматизация производства, его контроля и управления; открытие и использование новых видов энергии; создание и применение новых материалов. Однако сущность НТР не сводится ни к ее отдельным характеристическим чертам, ни тем более к самым крупным научным открытиям и направлениям научного и технического прогресса. *НТР — это перестройка всего технологического базиса и способа производства, начиная с использования материалов и энергетических процессов и кончая системой машин и формами организации и управления, отношением человека к процессу производства.* НТР создает предпосылки для возникновения единой системы важнейших сфер человеческой деятельности: теоретического познания закономерностей природы и общества, комплекса технических средств и опыта преобразования природы, процесса создания материальных благ и способов рациональной взаимосвязи практических действий в процессе производства.

Воздействие НТР на жизнь общества

Роль науки и техники в жизни современного общества трудно переоценить. Научно-техническая революция резко повысила благосостояние народов, которые в первую очередь воспользовались ее результатами (имеются в виду преимущественно развитые страны).

В этих странах существенно снизилась детская смертность и одновременно возросла продолжительность жизни. Произошли кардинальные изменения в быту: обычными предметами обихода стали телевизоры, магнитофоны, видеотехника, персональные компьютеры. Жизнь стала более удобной и комфортной. О степени разви-

тия стран судят по тому, насколько в них используются достижения НТР.

Технические средства увеличивают возможность выбора, и чем большее количество вариантов существует, тем больше степень индивидуальной свободы. Человек в состоянии создавать и выбирать из альтернатив ту, которая в большей степени соответствует его целям и потребностям. При этом, однако, возникает проблема психосоматической адаптации человеческого организма к создаваемой им искусственной среде, но, как известно, адаптационные возможности человека намного выше, чем у других видов жизни.

Конечно, было бы наивно думать, что НТР сама по себе, независимо от ее соотношения со структурой общества и личности, способна сделать человека счастливым, обеспечивая его все большим количеством материальных благ. Она дала человеку возможность управлять атомной энергией, но как он воспользуется ею — зависит от общества, в распоряжение которого данная сила поступает. Она может быть использована во благо человека, а может привести к уничтожению планеты в ядерной войне.

Еще один, бытовой, пример. НТР создала радио, телевизор и Интернет и тем самым облегчила доступ к информации о мире. Но если человек будет все свободное время сидеть у экрана, то в результате пассивного образа жизни он разучится общаться с другими людьми, с природой, станет некоммуникабельным, испортит зрение и т. п. Использовать достижения НТР нужно с умом.

НТР неразрывно связана с человеком, его желаниями и надеждами. С одной стороны, наука дает человеку желаемое, с другой — сама НТР влияет на него определенным образом, чего он может и не замечать. Человек эпохи НТР с ее ускоренным темпом жизни совсем не тот, что был прежде, хотя усложнение его бытия в психологическом смысле может сопровождаться уменьшением физической активности.

К тезису о том, что наука выполняет желания человека, следует сделать и одно серьезное дополнение. *Применяя какое-либо достижение науки и получая при этом определенный результат, часто вслед за ожидаемой пользой человек имеет нежелательные последствия.* Это можно проследить в промышленности, сельском хозяйстве, энергетике.

Как пример: слишком много у нас писали о том, что человек борется с природой, покоряет, побеждает ее. Результаты такой победы налицо: природа разрушается, исчезают или становятся редкими и заносятся в «Красную книгу» виды животных и растений, загрязняются реки, моря, океаны, атмосфера, почва, литосфера. Выясняется, что победа человека над природой — это совсем не то, что победа в футбольном матче, после которой соперники могут разойтись до следующей встречи.

Человек не может жить вне природы, он един с нею (хотя это единство и противоречиво, поскольку человек вынужден преобразовывать окружающую среду и не может жить иначе), и поэтому *то, что плохо для природы, в конечном счете отрицательно сказывается на человеке.*

**Воздействие НТР
на мировоззрение
людей**

Несомненно, наука имеет огромное мировоззренческое значение. Достаточно вспомнить тот переворот в умах, который произошел в результате отказа от геоцентрической картины мира и получил название «коперниканской революции». В позапрошлом веке большое влияние на сознание людей имела эволюционная теория Ч. Дарвина.

Роль науки в жизни общества неуклонно возрастала на протяжении последних столетий. Соответственно можно говорить и о возрастании мировоззренческого значения науки. *Наука и НТР в целом продолжают и поныне оказывать огромное воздействие на формирование мировоззрения людей.* Причем как сами научные достижения, например, в области экологии и синергетики, так и их применение в традиционных направлениях научного поиска (кибернетика).

Научные достижения оказывают как положительное, так и отрицательное влияние, о чем свидетельствует современная экология. Мировоззренческое значение имеют и новые научно-методологические средства, такие как системный подход. Есть все основания думать, что и в обозримом будущем мировоззренческое значение науки будет возрастать.

Существует воздействие и в обратном направлении. *Не только НТР влияет на мировоззрение, но и мировоззренческие сдвиги оказывают большое влияние на направление научных исследований.* Многих сейчас волнует вопрос о космических пришельцах. Посещают ли нас и посещали ли раньше разумные обитатели других планет? Несомненно, что наука должна давать аргументированный ответ на эти вопросы. Поэтому появление таких новых направлений научного знания, как уфология и палеовизитология, изучающая возможности контакта человека с представителями иных цивилизаций в прошлом, весьма характерно. Даже если никаких пришельцев не было и нет, наука должна изучать феномен небывалого интереса к этой проблеме, хотя бы с точки зрения социальной психологии.

То, что волнует широкие массы людей, достойно научного интереса. В свое время Ф. Энгельс писал о необходимости появления разумных существ на других планетах, даже если цивилизация на Земле погибнет. В этом нет ничего невероятного, хотя кому-то, может быть, хотелось бы чувствовать себя венцом творения во Вселенной.

Когда обсуждались гелио- и геоцентрическая картины мира, то одним из аргументов противников Н.Коперника было то, что человек создан Богом по своему образу и подобию, и поэтому планета, на которой он находится, не может не занимать центрального положения во Вселенной, а быть лишь одной из планет, к тому же вращающейся вокруг Солнца. Как известно, этот аргумент не смог оказать в конечном счете противодействия научным данным. Возможна и убедительная трактовка проблемы наличия внеземных цивилизаций и контакта с ними. Научные данные также могут здесь оказаться решающими.

**Отрицательные
последствия НТР**

Но не все так гладко в развитии науки, как хотелось бы некоторым футурологам. Повышается благосостояние главным образом стран Запада, и в то же время миллионы людей во всем мире ежегодно умирают от голода. Наука тратит слишком много сил не на улучшение условий существования людей, а на подготовку новых средств их уничтожения. Будучи поставлена на службу милитаризму, она способствует убийственной гонке вооружений, ведущей мир к термоядерной катастрофе. Невозможно всерьез рассуждать о социально-этических проблемах современной науки, не учитывая, что сегодня в мире, по данным ООН, в военной сфере заняты более 25 % общего числа научных работников и что 40 % всех расходов приходится на научные исследования и опытно-конструкторские разработки в этой области.

Это отрицательные последствия НТР социального плана. Есть и другие, в частности психологические. Наука и техника являются способом и средством становления человеческой сущности в природе и не могут быть объяснены в узкопрагматическом духе как инструмент адаптации человека к окружающей среде с целью выживания в ней. Сам термин «техника» означал первоначально ремесло и искусство творения мира. Технику и следовало бы рассматривать как умение и искусство преобразования действительности и в конечном счете как способ творения человеком самого себя и окружающего мира. Если мы посмотрим с этой стороны, то станет ясно, что создание однообразной техники столь же нелепо, как и вывешивание в музеях копий одних и тех же картин.

Пагубные для человека и природной среды последствия возникают не только вследствие собственно НТР, но и при массовом тиражировании и распространении уже созданных технических новинок, что делает жизнь чрезмерно стандартизированной и однообразной. Автомобиль как техническое произведение — свидетельство торжества человеческого разума. Но миллиарды автомобилей — это уже экологическая опасность. Техника должна быть индивидуализирована в соответствии с творческим потенциалом,

заложенным в ней, и конкретными характеристиками среды, в которой она используется.

Еще одно негативное психологическое последствие НТР связано с тем, что способствуя росту знаний, наука приводит в то же время к отчуждению человека от природы и себе подобных. Массовое научное производство порождает такого же «частичного» (узкоспециализированного) работника, как и крупное промышленное производство. Зная все в своей узкой области деятельности, человек теряет способность к целостному осмыслению действительности.

В результате применения достижений современной науки в традиционных технологических рамках обостряется комплекс глобальных проблем, и прежде всего во взаимоотношениях между обществом и природой. Здесь мы сталкиваемся с разрывом между тем, что наука дает человечеству, и тем, что она могла бы дать, и эта проблема не научная или технологическая, а прежде всего социальная.

Ученые давно высказывали опасения относительно ухудшения экологической обстановки на нашей планете, но люди, ответственные за принятие административных решений, не прислушивались к их мнению. Начало НТР относят к середине XX в., а всего одним десятилетием позже на передний план выступила экологическая проблема. Недаром НТР и охрану природы рассматривают вместе. *Когда мы говорим о благах, даруемых НТР, мы должны думать и о том, какой ценой это достигнуто.* «Ничто не дается даром», — так сформулировал один из своих законов экологии Б. Коммонер.

НТР приводит к усилению давления на природную среду, к которой она уже не способна противодействовать. К экологически негативным последствиям НТР следует отнести истощение природных ресурсов и рост капиталовложений в горно-добывающую промышленность, загрязнение природной среды, затопление территорий в результате строительства электростанций, обмеление и исчезновение рек, гибель не только отдельных представителей флоры и фауны, но и целых видов растений и животных и т. п.

Интенсивное промышленное и дорожное строительство ведет к сокращению площадей пахотных земель. По некоторым оценкам, на десятки миллионов легковых автомобилей, выпускаемых в год в мире, уходит половина мирового производства металлов. Транспорт потребляет от 15 до 33 % всей расходуемой энергии и является одним из основных источников загрязнения атмосферы.

Парадокс состоит в том, что все согласны с основными требованиями разумного природопользования, таких как чистота воздуха и воды, уменьшение шума, забота о животном и растительном мире. Люди начали осознавать, в какой мере все это важно. И все-таки большинство мало задумывается о близких и отдален-

ных последствий своих действий. В результате *люди становятся биологическими жертвами экономического развития*.

Существует статистика экологически обусловленных заболеваний. В первую очередь это бронхиты и различные легочные заболевания, вызванные загрязнением атмосферы. Появляются болезни, которые не существовали раньше, например, болезнь Минамата (отравление ртутью), вызванная потреблением в пищу рыбы, выловленной в отравленных водах. Случаи этой болезни впервые наблюдались в японской деревне Минамата. Большая часть органических соединений ртути, выбрасываемых с промышленными отходами в море, в этой среде быстро превращается в неорганические соединения, входящие в состав отложений на дне моря. При участии микроорганизмов они преобразуются в ртутьметил — чрезвычайно токсичное соединение, которое может накапливаться в цепи морских продуктов, в том числе рыбе, которая и служит источником отравления.

Большую опасность представляет развитие атомной энергетики. Последствия катастрофы в Чернобыле будут сказываться еще многие десятилетия. Страна первой в мире атомной электростанции стала и страной первой атомной катастрофы на АЭС.

Экологической опасности подвергаются не только ныне живущие, но и следующие поколения. Освобождаясь от сил природы, человек становится все более зависимым от создаваемой им же техники и в целом даже более уязвимым, чем прежде.

С ростом научно-технических возможностей человека возрастают и риск отрицательных последствий его деятельности, и трудность адекватной оценки этого риска. Поэтому любые попытки улучшения природных процессов должны проводиться с величайшей осторожностью. Казалось бы, если в процессе фотосинтеза улавливается 1 % солнечной энергии, то почему бы не увеличить его искусственно до 2, 3, 10 %? Выясняется, однако, что 99 % солнечной энергии не пропадают даром. «Они поддерживают круговорот воды и минеральных веществ, удерживают температуру среды на определенном уровне, так что она меняется в сравнительно узком диапазоне, совместимом с жизнедеятельностью протоплазмы. Эти потоки энергии не менее важны для жизни, чем пища»¹.

Технологические новшества, вводимые для решения одной проблемы, стоящей перед обществом, создают новые проблемы, которые могут быть еще более трудными. Если человечество не осознает это парадоксальное положение и не научится управлять им, оно создаст очень неустойчивую, неравновесную систему.

Невозможность предвидения фундаментальных открытий в науке и всех вытекающих из них последствий лежит в самой их природе. *Нужно быть готовыми к тому, чтобы постоянно оценивать пользу*

¹ Одум Ю. Основы экологии. — М., 1975. — С. 72.

научно-технических нововведений и вовремя отказываться от них, если получаемый результат будет далек от возлагаемых надежд.

Благотворная роль науки, выступающей в качестве орудия социального прогресса, которая провозглашалась многими ее поборниками на заре эпохи Возрождения, сейчас подвергается серьезному сомнению. НТР может превратить человека в придаток созданной им машины и отдалить его от природы. В научно-фантастической литературе все явственнее звучат темы «бунта машин» против своих создателей. Некоторые футурологи считают, что в будущей «компьютерной цивилизации» человеку вообще не останется места. Как же все-таки добиться того, чтобы наука и техника делали жизнь человека более гуманной и приносящей ему истинное удовлетворение?

Свести к минимуму отрицательные последствия НТП можно при условии его сочетания с социальным прогрессом и духовно-душевным становлением личности. Если природа и человек будут разрушаться, то зачем нужен научно-технический прогресс? Преобразование природы должно носить творческий характер с учетом конкретной обстановки, в которой оно происходит, и сопровождаться развитием чувства любви к природе, теряемого под влиянием НТП. Внешние факторы в развитии науки и техники (цели общества, влияние государственных институтов, ценностные установки самих ученых и т.д.) должны находиться в гармонии с внутренней логикой научного исследования и технического преобразования природы.

Возможно ли сочетание НТП с духовным и душевным прогрессом общества и каждого индивидуума, с прогрессом природы? В принципе да, поскольку под влиянием НТП труд приобретает, точнее, способен приобретать, более творческий характер, помогая тем самым саморазвитию личности. Но это не произойдет автоматически, а потребует усилий и понимания существа дела каждым человеком. Иначе НТР может привести к новому рабству — человек станет рабом созданной им техники. Известна отрицательная роль инерции мышления. Однако и необдуманные преобразования ни к чему хорошему не ведут: нужны постоянные и осмысленные действия каждого человека, какую бы деятельность он не осуществлял.

Всемирный характер НТР настоятельно требует развития международного научно-технического сотрудничества. Это диктуется как тем обстоятельством, что современные глобальные научно-технические проекты требуют огромных финансовых затрат, так и тем, что целый ряд последствий НТР далеко выходит за национальные рамки. Международное научно-техническое сотрудничество вместе с создаваемым наукой единым для всех наций универсальным научным языком (научное эсперанто) создают основу для сближения народов.

Естественно-научная и гуманитарная культура

Человек обладает знанием об окружающей его природе (Вселенной), о самом себе и произведениях своего труда. Таким образом всю имеющуюся у него информацию мож-

но разделить на два больших раздела — на естественно-научное (естественное в том смысле, что изучается то, что существует независимо от человека, в противоположность искусственному — созданному человеком) и гуманитарное (от лат. *humanus* — человеческий, человечный) знание, знание о человеке.

Различия между естественно-научными и гуманитарными знаниями заключаются в том, что первые основаны на разделении субъекта (человека) и объекта (природы, которую познает человек — субъект) при преимущественном внимании к объекту, а вторые имеют отношение прежде всего к самому субъекту.

Английский писатель Ч. Сноу сформулировал альтернативу «двух культур» — научно-технической и художественно-гуманитарной. По его мнению, они настолько разделены в современном мире, что представители каждой из них не понимают друг друга. В нашей печати в 60-х гг. XX в. велись интенсивные дискуссии между «физиками» и «лириками». Они показали как несостоятельность неумеренных притязаний тех и других на монопольное обладание истиной, так и необходимость более целостного развития культуры как таковой, взаимодействия науки и искусства, развития естественной науки о человеке (антропологии) в его индивидуальном и социальном измерениях. О некоторых положительных тенденциях в этом направлении речь пойдет дальше.

Вопросы для повторения

1. Что следует понимать под словом «концепции»?
2. Что такое концепции современного естествознания?
3. Почему их надо изучать?
4. Какие концепции естествознания относятся к современным?
5. Что такое научно-техническая революция?
6. Каковы основные черты НТР?
7. Что дает НТР современному человеку?
8. Какие существуют противоречия в развитии НТР?
9. Каковы негативные последствия НТР и что нужно для их преодоления?
10. Каковы основные особенности «двух культур» — естественно-научной и гуманитарной?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Когда и при каких обстоятельствах появилось понятие НТР?
2. НТР — это всемирное или региональное явление?

3. Продолжается ли НТР сейчас?
4. Какое техническое приложение имеют астрономия, кибернетика и другие науки?
5. Какие из известных вам видов оружия созданы на основе законов физики, биологии, психологии?
6. Каковы формы связи между современной наукой и техникой?
7. Каковы они были в Древнем мире и в Средние века и почему?
8. Благодаря чему произошли фундаментальные изменения во взаимоотношениях науки и техники?
9. Охарактеризуйте каждое из основных достижений НТР.
10. Чем отличается научно-техническая революция от социально-политических и научных революций?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Самым поразительным по новизне и по своим неслыханным практическим последствиям в области техники является со времени Кеплера и Галилея естественно-научное знание с его применением математической теории» (К. Ясперс).

«Еще позавчера мы ничего не знали об электричестве, вчера мы ничего не знали об огромных резервах энергии, содержащихся в атомном ядре. О чем мы не знаем сегодня? Человек много веков жил рядом с электричеством, не подозревая о его значении. Быть может, мы окружены силами, о которых сегодня не имеем ни малейшего представления» (Л. де Бройль).

III. Прокомментируйте схемы.

1. Связь технических достижений с естественными науками

Технические достижения

Науки

Атомная бомба

Ядерная физика

Выход в космос

Космонавтика

Создание компьютеров

Кибернетика

Видеотехника

Радиоэлектроника

Создание синтетических материалов

Химия

«Зеленая революция»

Генетика

2. Причины тесной связи современной науки с техникой

А. Наличие единой методологии научных исследований и технических разработок.

Б. Сращивание науки и техники в единую систему.

В. Становление науки как производительной силы общества.

Г. Разработка принципов научной организации труда.

Литература

- Бердяев Н. А. Дух и машина // Судьба России. — М., 1990.
 Новая технократическая волна на Западе. — М., 1986.
 Сноу Ч. Две культуры. — М., 1973.

ОСОБЕННОСТИ НАУКИ И ЕЕ МЕСТО В КУЛЬТУРЕ

Характерные черты науки

При рассмотрении такого многогранного явления, как наука, можно выделить три его стороны: отрасль культуры; способ познания мира и специальный институт (в понятие института в данном контексте входят не только высшие учебные заведения, но и научные общества, академии, лаборатории, журналы и т.п.).

Как и другим сферам человеческой деятельности, науке присущи специфические черты.

1. *Универсальность* — наука сообщает знания, истинные для всего универсума при тех условиях, при которых они добыты человеком. Научные законы действуют во всей Вселенной.

2. *Фрагментарность* — наука изучает не бытие в целом, а фрагменты реальности или ее параметры; сама же делится на различные дисциплины. Вообще понятие бытия как философское неприменимо к науке, представляющей собой частное познание. Каждая наука как таковая есть определенная проекция на мир, своеобразный прожектор, высвечивающий области, которые представляют интерес для ученых в данный момент.

3. *Общезначимость* — научные знания пригодны для всех людей; язык науки однозначно фиксирует термины, что способствует объединению людей.

4. *Безличность* — ни индивидуальные особенности ученого, ни его национальность или место проживания никак не представлены в конечных результатах научного познания.

5. *Систематичность* — наука имеет определенную структуру, а не является бессвязным набором частей.

6. *Незавершенность* — хотя научное знание безгранично расширяется, оно не может достичь абсолютной истины, после которой уже нечего будет исследовать.

7. *Преемственность* — новые знания определенным образом и по определенным правилам соотносятся со старыми знаниями.

8. *Критичность* — всегда готовность поставить под сомнение и пересмотреть свои результаты.

9. *Достоверность* — научные выводы требуют, допускают и проходят проверку по определенным, четко сформулированным правилам.

10. *Внеморальность* — научные истины нейтральны в морально-этическом плане, а нравственные оценки могут относиться либо к деятельности по получению знания (этика ученого требует от него интеллектуальной честности и мужества в процессе поиска истины), либо к деятельности по его применению.

11. *Рациональность* — получение знаний на основе рациональных процедур. Составными частями научной рациональности являются: понятийность, т.е. способность определять термины путем выявления наиболее важных свойств данного класса предметов; логичность, т.е. использование законов формальной логики; дискурсивность, т.е. способность раскладывать научные утверждения на составные части.

12. *Чувственность* — научные результаты требуют эмпирической проверки с использованием восприятия и только после этого признаются достоверными.

Эти свойства науки образуют 6 диалектических пар, соотносящихся друг с другом: универсальность — фрагментарность, общезначимость — безличность, систематичность — незавершенность, преемственность — критичность, достоверность — внеморальность, рациональность — чувственность.

Кроме того, для науки характерны свои особые методы и структура исследований, язык и аппаратура. Всем этим и определяется специфика научного исследования и значение науки.

Отличие науки от других отраслей культуры

Отмеченные характерные черты науки позволяют отличить ее от всех других отраслей культуры.

Отличие науки от *мистики* заключается в стремлении не к слиянию с объектом исследования, а к его теоретическому пониманию и воспроизведению.

От *искусства* наука отличается рациональностью, не останавливающейся на уровне образов, а доведенной до уровня теорий.

В отличие от *мифологии* наука стремится не к объяснению мира в целом, а к формулированию законов развития природы, допускающих эмпирическую проверку.

От *философии* науку отличает то, что ее выводы допускают эмпирическую проверку и отвечают не на вопрос «почему?», а на вопросы «как?», «каким образом?».

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

По сравнению с *идеологией* научные истины общезначимы и не зависят от интересов определенных слоев общества.

В отличие от *техники* наука нацелена не на использование полученных знаний о мире для его преобразования, а на познание мира.

От обыденного сознания наука отличается теоретическим освоением действительности.

Наука и религия

Остановимся более подробно на соотношении науки и религии, тем более что существуют различные точки зрения на данную проблему. В атеистической литературе пропагандировалось мнение, что научное знание и религиозная вера несовместимы, и каждое новое знание уменьшает область веры, вплоть до утверждений, что поскольку космонавты не увидели Бога, то, стало быть, его нет.

Водораздел между наукой и религией проходит в соответствии с соотношением в этих отраслях культуры разума и веры. В науке преобладает рациональность, но и в ней имеет место вера, без которой познание невозможно — вера в чувственную реальность, которая дается человеку в ощущениях, вера в познавательные возможности разума и в способность научного знания отражать действительность. Без такой веры ученому трудно было бы приступить к научному исследованию. Наука не исключительно рациональна, в ней есть место и интуиции, особенно на стадии формулирования гипотез. С другой стороны, и разум, особенно в теологических исследованиях, привлекался для обоснования веры и далеко не все церковные деятели соглашались с афоризмом Тертуллиана: «Верую, потому что абсурдно».

Итак, области разума и веры не разделены абсолютной преградой. Наука может сосуществовать с религией, поскольку внимание этих отраслей культуры устремлено на разные вещи: в науке — на эмпирическую реальность, в религии — преимущественно на вневещное. Научная картина мира, ограничиваясь сферой опыта, не имеет прямого отношения к религиозным откровениям, и ученый может быть как атеистом, так и верующим. Другое дело, что в истории культуры известны случаи резких конфронтаций между наукой и религией, особенно во время обретения наукой независимости, скажем, во времена создания гелиоцентрической модели строения мира Н. Коперником. Но так необязательно должно быть всегда.

Существует еще и область суеверий, которая не имеет отношения ни к религиозной вере, ни к науке, а связана с остатками мистических и мифологических представлений, а также с различными сектантскими ответвлениями от официальной религии и бытовыми предрассудками. Суеверия, как правило, далеки и от подлинной веры, и от рационального знания.

Наука и философия

Важно правильно понимать и взаимоотношения науки с философией, поскольку неоднократно, в том числе и в недавней истории, различные философские системы претендовали на научность и даже на ранг «высшей науки», а ученые не всегда проводили границу между своими собственно научными и философскими высказываниями.

Специфика науки заключается в том, что она не берется за изучение мира в целом, подобно философии, а представляет собой частное познание, а также в том, что результаты науки требуют эмпирической проверки. В отличие от философских утверждений они не только подтверждаемы с помощью специальных практических процедур или подвержены строгой логической выводимости, как в математике, но и допускают принципиальную возможность их эмпирического опровержения. Все это позволяет провести демаркационную линию между философией и наукой.

Ученых порой представляли в качестве так называемых «стихийных материалистов» в том плане, что им присуща изначальная вера в материальность мира. Однако это вовсе не обязательно. Можно верить, что Некто или Нечто передает людям чувственную информацию, а ученые считывают, группируют, классифицируют и перерабатывают ее. Эту информацию наука рационализирует и выдает в виде законов и формул вне отношения к тому, что лежит в ее основе. Поэтому ученый может вполне быть как стихийным материалистом или идеалистом, так и сознательным последователем какой-либо философской концепции. Такие ученые, как Р.Декарт и Г.В.Лейбниц, были также выдающимися философами своего времени.

Значение науки в эпоху НТР

НТР характеризуется, во-первых, сращиванием науки с техникой в единую систему (этим определяется сочетание научно-техническая), в результате чего наука стала непосредственной производительной силой, а во-вторых, небывалыми успехами в деле покорения природы и самого человека как части природы. Достижения НТР впечатляющи. Она вывела человека в космос, дала ему новый источник энергии — атомную, принципиально новые вещества и технические средства (лазер), новые средства массовой коммуникации и информации, и т.д. и т.п. Термин НТР возник в середине XX в., когда человек создал атомную бомбу и стало ясно, что наука может уничтожить нашу планету.

В авангарде науки идут фундаментальные исследования. Внимания властей к ним резко возросло после того, как А.Эйнштейн сообщил в 1939 г. президенту США Ф.Рузвельту о том, что физиками выявлен новый источник энергии, который позволяет создать невиданное доселе оружие массового уничтожения.

Современная наука — «дорогое удовольствие». Строительство синхрофазотрона, необходимого для проведения исследований в области физики элементарных частиц, требует миллиардов долларов, не говоря уже о космических исследованиях. В развитых странах на науку сегодня затрачивается 2—3 % валового национального продукта. Но без этого невозможны ни достаточная обороноспособность страны, ни ее производственное могущество.

Наука развивается по экспоненте: объем научной деятельности, в том числе мировой научной информации в XX в., удваивается каждые 10—15 лет. Растет число ученых и научных направлений. В 1900 г. в мире было 100 тыс. ученых, в конце XX в. — 5 млн (один из тысячи человек, живущих на Земле). 90 % всех ученых, когда-либо живших на планете, — наши современники. Процесс дифференциации научного знания привел к тому, что сейчас насчитывается более 15 тыс. научных дисциплин.

Наука не только изучает мир и его эволюцию, но и сама является продуктом эволюции, составляя вслед за природой и человеком особый, «третий», мир — мир знаний и навыков. В концепции трех миров — мира физических объектов, мира индивидуально-психического и мира intersubjectивного (общечеловеческого) знания — наука сменила «мир идей» Платона. Третий, научный, мир стал таким же эквивалентом философскому «миру идей», как «град божий» Блаженного Августина в Средние века.

В современной философии существуют два взгляда на науку в ее связи с жизнью человека: наука — продукт, созданный человеком (К. Ясперс), и наука как продукт бытия, открываемый через человека (М. Хайдеггер). Последний взгляд еще ближе подводит к платоновско-августиновским представлениям, но и первый не отрицает фундаментального значения науки.

Наука не только приносит непосредственную пользу общественному производству и благосостоянию людей, но также учит думать, развивает ум, экономит умственную энергию. «С того момента, как наука стала действительностью, истинность высказываний человека обусловлена их научностью. Поэтому наука — элемент человеческого достоинства, отсюда и ее чары, посредством которых она проникает в тайны мироздания»¹.

Эти же чары приводили и к преувеличенному представлению о возможностях науки, к попыткам поставить ее выше других отраслей культуры и перед ними. Создалось своеобразное научное «лобби», которое получило название сциентизма (от лат. *scientia* — наука). Именно в наше время, когда роль науки поистине огромна, появился сциентизм с представлением о науке, особенно естествознании, как высшей, если не абсолютной ценности. Эта научная идеология заявила, что лишь наука способна решить все проблемы, стоящие перед человечеством, включая бессмертие.

Для сциентизма характерны абсолютизация стиля и методов «точных» наук, объявление их вершиной знания, часто сопровождающееся отрицанием социально-гуманитарной проблематики как не имеющей познавательного значения. Именно на волне сциентизма возникло представление о никак не связанных друг с другом «двух культурах» — естественно-научной и гуманитарной.

¹ Ясперс К. Смысл и назначение истории. — М., 1994. — С. 105.

В рамках сциентизма наука рассматривалась как единственная в будущем сфера духовной культуры, которая поглотит ее нерациональные области. В противоположность этому также громко заявившие о себе во второй половине XX в. антисциентистские высказывания обрекают науку либо на вымирание, либо на вечное противопоставление человеческой природе.

Антисциентизм исходит из положения о принципиальной ограниченности возможностей науки в решении коренных человеческих проблем, а в своих проявлениях оценивает ее как враждебную человеку силу, отказывая ей в положительном влиянии на культуру. Да, говорят критики, наука повышает благосостояние населения, но она же увеличивает опасность гибели человечества и Земли от атомного оружия и загрязнения природной среды.

**Противоречия
современной
науки**

Миг наибольшего торжества науки, свидетелемствовавший о ее мощи, был в то же время началом ее кризиса, потому что создание и применение атомного оружия вело к разрушению и уничтожению. Затем возникла экологическая проблема. Виновна в ней не столько сама наука, сколько цели, которые перед ней ставились, а также нормы, методы и средства, в соответствии с которыми она развивалась.

Характерные свойства науки, о которых мы говорили в начале, определяют ее противоречия и ограничения. Так, фрагментарность науки означает, что это проекция на определенную часть мира. «Желать, чтобы наука охватывала природу, значило бы заставить целое войти в состав своей части», — предостерегал великий французский математик А. Пуанкаре¹. *Наука решает частные проблемы и дает относительные ответы на частные вопросы, которые (ответы) подтверждаются опытом.* Наука не отвечает на вопросы: Откуда произошло первовещество? Что было до космоса? Что за пределами расширяющейся Вселенной? Конечны или бесконечны пространство и время? Желающим получить на них ответы следует обращаться к отраслям культуры, которые претендуют на абсолютную истину.

Еще древние философы делили все утверждения на знание и мнение. Знание, или наука (по Аристотелю), может быть двух родов — либо демонстративным, либо интуитивным. Демонстративное знание представляет собой знание причин. Оно состоит из утверждений, которые могут быть доказательствами, т. е. демонстративное знание — это заключения вместе с их силлогистическими доказательствами, или демонстрациями. Интуитивное знание состоит в мгновенном постижении «неделимой формы», сущности вещи. Оно является первоначальным источником всей науки,

¹ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 288.

поскольку формирует «базисные посылки» для всех доказательств (демонстраций). «Для всего без исключения доказательства быть не может, ведь иначе приходилось бы идти в бесконечность»¹, — писал Аристотель.

Современные методологии науки принимают это положение и соглашаются идти в бесконечность. «Другими словами, мы знаем, что наши научные теории навсегда должны остаться только гипотезами, но во многих важных случаях мы можем выяснить, новая гипотеза лучше старой или нет. Дело в том, что если они различны, то они должны вести к различным предсказаниям, которые, как правило, можно проверить экспериментально. На основе такого решающего эксперимента иногда можно обнаружить, что новая теория приводит к удовлетворительным результатам там, где старая оказалась несостоятельной. В итоге можно сказать, что в поиске истины мы заменили научную достоверность научным прогрессом. Дело в том, что наука развивается не путем постепенного накопления энциклопедической информации, как думал Аристотель, а движется значительно более революционным путем. Она прогрессирует благодаря смелым идеям, выдвижению новых, все более странных теорий (таких как теория, по которой Земля не плоская и «метрическое пространство» не является плоским) и ниспровержению прежних теорий. Однако такой подход к научному методу означает, что в науке нет *знания* в том смысле, в котором понимали это слово Платон и Аристотель, т.е. в том смысле, в котором оно влечет за собой окончательность. *В науке мы никогда не имеем достаточных оснований для уверенности в том, что мы уже достигли истины.* То, что мы называем «научным знанием», как правило, не является знанием в платоновско-аристотелевском смысле, а, скорее, представляет собой информацию, касающуюся различных соперничающих гипотез и способа, при помощи которого они поддерживают разнообразные проверки. Это, если использовать язык Платона и Аристотеля, информация, касающаяся самого последнего и наилучшим образом проверенного научного *мнения*. Такое воззрение означает также, что в науке не существует доказательств (за исключением, конечно, чистой математики и логики). В эмпирических науках, а только они и могут снабжать нас информацией о мире, в котором мы живем, вообще нет доказательств, если под «доказательством» имеется в виду аргументация, которая раз и навсегда устанавливает истинность теории, а вот что здесь есть, так это опровержения научных теорий»².

К этому добавляются еще и противоречия, присущие самому процессу познания. *Природа едина, а науки разделены на отдельные дисциплины. В природе все связано со всем, тогда как каждая наука*

¹ Аристотель. Сочинения: в 4 т. — М., 1976. — Т. 1. — С. 126.

² Потпер К. Открытое общество и его враги. — М., 1992. — Т. 2. — С. 20—21.

занимает свою полочку. «Существуют отдельные науки, а не наука вообще как наука о действительном, однако каждая из них входит в мир беспредельный, но все-таки единый в калейдоскопе связей»¹.

Объекты действительности функционируют как целостные образования, а наука развивается путем абстрагирования некоторых свойств этих объектов, принимаемых за наиболее важные. *Основой структуры научного познания (что особенно характерно для наиболее развитых отраслей естествознания) является анализ предмета исследования, т. е. выделение абстрактных элементарных объектов и последующий синтез из этих абстрактных элементов единого целого в форме теоретической системы.* По мнению Б. Рассела, «научный прогресс осуществляется благодаря анализу и искусственной изоляции. Возможно, как считает квантовая теория, что существуют границы правомерности этого процесса, но, если бы он не был обычно правильным, хотя бы приблизительно, научное познание было бы невозможно»².

Ситуация в области исследования экологической проблемы в практическом плане, как и ситуация в квантовой механике — в теоретическом, ставит под сомнение правомерность абсолютизации процесса искусственной изоляции и анализа, и многие ученые именно эти черты науки считают ответственными за возникновение экологических проблем.

С критикой аналитической направленности науки последнее время приходится сталкиваться все чаще. Эта ее черта признана фундаментальной и оценивалась по большей части положительно в истории науки, хотя известна и другая ее оценка. Критиковали аналитическую направленность науки И. В. Гёте, М. Монтень, а также другие писатели, ученые и философы. Наука начинается с аналитического расчленения универсума. Как пишет В. Вайскопф, «наука стала развиваться, когда люди начали удерживать себя от общих вопросов, таких, как: “Из чего состоит материя? Как возникла Вселенная? В чем сущность жизни?” Они стали задавать вопросы частного характера, например: “Как падает камень? Как вода течет по трубе?” и т. д.»³.

В областях, которые наиболее доступны аналитическому расчленению, таких, например, как физика, наука достигает наибольшего успеха, и эти области становятся как бы эталонами знания. Мечтой Т. Гоббса было свести все науки к физике, а Ф. Бэкон называл физику «матерью наук». В XX в. эти мечты воплотились в методологической концепции «единой науки», которая возникла бы на базе физики (физикализм).

¹ Ясперс К. Смысл и назначение истории. — М., 1994. — С. 102—103.

² Рассел Б. Человеческое познание. Его сфера и границы. — М., 1957. — С. 71.

³ Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. — М., 1977. — С. 256.

Программа сведения всего научного познания к физическому, получившая название *редукционизм*, не могла быть воплощена в жизнь, поскольку каждая область реальности обладает своей спецификой и не может быть сведена ни к какой другой.

Здесь уместно отметить, что аналитизм, лежащий в самом фундаменте научного подхода к действительности, вполне отвечает стремлению человека практически овладеть предметным миром, поскольку сама преобразовательная деятельность по своей сути также преимущественно аналитична. С этой точки зрения вполне понятно восхищение аналитическим методом (и физикой, в которой этот метод наиболее полно воплотился), которое испытывал Ф. Бэкон.

Конечно, делать отсюда вывод, что с помощью науки нельзя познать действительность или что наука ничего не дает для решения фундаментальных проблем человеческого существования, — значит впадать в крайность. *Выигрыш в четкости познания деталей в общем случае не обязательно должен вести к проигрышу в точности познания целостной картины мира.* Но не следует забывать об упоминавшемся относительном характере научных истин, находящем свое выражение в следующем парадоксе познания: знание в наиболее четкой и логичной форме достигается через науку и в более общем плане — через рациональное мышление, которое в определенной мере и ответственно за разрушение (по крайней мере идеальное) мира.

Итак, один из гносеологических корней экологического кризиса — чрезмерный аналитизм научного мышления, который в стремлении все дальше проникнуть в глубь вещей таит в себе опасность отхода от реальности, от целостного взгляда на природу. Искусственная изоляция какого-либо фрагмента реальности дает возможность его углубленного изучения, однако при этом не учитываются связи этого фрагмента с его средой. Данное обстоятельство, которое может оказаться малосущественным в рамках конкретного исследования, влечет за собой серьезные негативные последствия, когда результаты подобного исследования вовлекаются в практику человеческой преобразовательной деятельности.

Аналитизм внутри конкретных научных дисциплин находит свое продолжение в аналитической направленности развития науки в целом как особой формы постижения мира. *Фундаментальной особенностью структуры научной деятельности, вытекающей из ее преимущественно аналитического характера, является разделенность науки на обособленные друг от друга дисциплины.* Это, конечно, имеет свои положительные стороны, поскольку дает возможность изучать отдельные фрагменты реальности, но при этом упускаются из виду связи между отдельными фрагментами, а в природе, как известно, «все связано со всем», и каждый акт изменения человеком природной среды не ограничивается какой-либо одной ее

областью, а имеет, как правило, широкие отдаленные последствия.

Разобщенность наук особенно мешает сейчас, в эпоху быстро-текущей дифференциации научного знания, когда выявилась необходимость комплексных интегративных исследований. Чрезмерная специализация так же может помешать эволюции науки, как и чрезмерная специализация животных приводит к созданию тупиковых направлений в биологической эволюции.

Вопросы для повторения

1. Каковы характерные черты науки?
2. Что такое научная рациональность?
3. Чем наука отличается от религии?
4. В чем отличие науки от философии?
5. Чем наука отличается от искусства?
6. В чем отличие науки от мистики?
7. Чем наука отличается от идеологии?
8. В чем отличие науки от мифологии?
9. Каково значение науки в эпоху НТР?
10. Каковы главные противоречия в развитии науки?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что означает утверждение: «мир познаваем»?
2. Может ли познание дойти до каких-либо неделимых частиц и не будет ли это концом познания?
3. Может ли существовать первоматерия?
4. Каково соотношение между материей и гармонией мира?
5. Чем отличается наука от других отраслей культуры?
6. В каком смысле можно говорить о совместимости и несовместимости науки и религии? Что такое верующий ученый?
7. Доказали ли полеты человека в космос, что Бога нет, и каким образом?
8. Как вы относитесь к предложению П.Фейерабенда об отделении науки от государства?
9. Наука — благо или зло?
10. Развитие науки привело к получению атомной энергии и возникновению опасности Чернобыля. Рисковать или нет? Как определить степень риска и можно ли в принципе сделать это?
11. Гуманный и гуманитарный: в чем сходство и различие? Правильно ли говорить: «гуманитарная помощь»?
12. Вопрос о взаимоотношении науки и искусства: почему А. Эйнштейн играл на скрипке и говорил, что Ф. М. Достоевский дал ему больше, чем К. Ф. Гаусс?
13. В чем отличие химии от алхимии, астрономии от астрологии?
14. Что такое наука и естествознание?

15. В чем отличие естествознания от гуманитарного и технического знания, а также от математики?

16. Чем отличается материя в философском смысле от материи в физическом смысле?

17. Чем классификация отличается от перечисления?

18. От какого слова происходит слово «естествознание»?

19. Как соотносится наука с обыденным знанием (на примере коперниканской революции)?

20. Можно ли создать «теорию всего» и ответить на все вопросы?

21. Как повлиял позитивизм на развитие науки?

22. Абсолютна или относительна научная истина?

23. Почему научную истину называют интерсубъективной?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Я докажу вам существование божественного провидения, анатомия вошь» (Я. Сваммердам) в сравнении с ответом П. С. Лапласа на вопрос Наполеона о том, почему в его системе мира нет Бога: «Я не нуждаюсь в этой гипотезе».

«Наука не открывается каждому без усилий. Подавляющее число людей не имеет о науке никакого понятия. Это — прорыв в сознании нашего времени. Наука доступна лишь немногим. Будучи основной характерной чертой нашего времени, она в своей подлинной сущности тем не менее духовно бессильна, так как люди в своей массе, усваивая технические возможности или догматически воспринимая ходячульные истины, остаются вне ее» (К. Ясперс).

«Правильным методом философии был бы следующий: не говорить ничего, кроме того, что может быть сказано, — следовательно, кроме предложений естествознания, т. е. того, что не имеет ничего общего с философией» (Л. Витгенштейн).

«Каждая наука определена методом и предметом. Каждая являет собой перспективу видения мира, ни одна не постигает мир как таковой, каждая охватывает сегмент действительности, но не действительность, — быть может, одну сторону действительности, но не действительность в целом» (К. Ясперс).

«Было бы неверно называть современную науку экспериментальной потому, что при вопрошании природы она использует экспериментальные устройства. Правильное противоположное утверждение, и вот почему: физика, уже как чистая теория, требует, чтобы природа проявила себя в предсказуемых силах; она ставит свои эксперименты с единственной целью задать природе вопрос: следует ли та, и если следует, то каким именно образом, схеме, предначертанной наукой» (М. Хайдеггер).

«Именно в этом и кроется разгадка тайны, которая лишает науку загадочного ореола и показывает, в чем состоит ее реальная сила. Если говорить о конкретных результатах, то наука не дает нам ничего нового, к чему бы мы не могли прийти, затратив достаточно много времени, без всяких методов... Подобно тому, как один человек, опирающийся только на плоды своего труда, никогда не сможет сколотить состояние, в то время как скопление результатов труда многих людей в руках одного человека есть основа богатства и власти, точно так же любое знание,

заслуживающего того, чтобы так называться, не может быть наполнено разумом одного человека, ограниченного продолжительностью человеческой жизни и наделенного лишь конечными силами, если он не прибегнет к самой жесткой экономии мысли и тщательному собиранию экономно упорядоченного опыта тысяч сотрудников» (Э. Мах).

«Искусство — это я, наука — это мы» (К. Бернар).

«Природа предшествует человеку, человек предшествует естествознанию» (В. Гейзенберг).

III. Прокомментируйте схему.

Разделения систем по предмету исследования

<i>Простые</i>	<i>Сложные</i>
Устойчивые	Неустойчивые
Закрытые	Открытые
Без обратной связи	С обратной связью
Неживые	Живые
Растительные	Животные
Неразумные	Разумные

Литература

Бернал Дж. Наука в истории общества. — М., 1958.

Полани М. Личностное знание. — М., 1985.

Рассел Б. Человеческое познание. Его сфера и границы. — М., 1957.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ЕГО МЕСТО В НАУКЕ

Становление науки

Наука в ее современном понимании является принципиально новым фактором в истории человечества, возникшим в недрах

новоевропейской цивилизации в XVI—XVII вв.

Немецкий философ К. Ясперс говорит о двух этапах становления науки:

– этап I — «становление логически и методически осознанной науки — греческая наука и параллельно зачатки научного познания мира в Китае и Индии»;

– этап II — «возникновение современной науки, вырастающей с конца Средневековья, решительно утверждающейся с XVII в.» и развертывающейся во всей своей широте с XIX в.¹

Именно в XVII в. произошло то, что дало основания говорить о научной революции, — радикальная смена основных компонентов содержательной структуры науки, выдвижение новых принципов познания, категорий и методов.

Социальным стимулом развития науки стало растущее капиталистическое производство, которое требовало новых природных ресурсов и машин. Для осуществления этих потребностей и понадобилась наука в качестве производительной силы общества. Тогда же были сформулированы и новые цели науки, которые существенно отличались от тех, на которые ориентировались ученые древности.

Греческая наука была умозрительным исследованием (слово «теория» буквально в переводе с греческого означает «углубленное видение»), мало связанным с практическими задачами. В этом Древняя Греция и не нуждалась, поскольку все тяжелые работы выполняли рабы. Ориентация на практическое использование научных результатов считалась не только излишней, но даже неприличной и признавалась низменной.

Только в XVII в. наука стала рассматриваться в качестве способа увеличения благосостояния населения и обеспечения господства человека над природой. Р. Декарт писал: «Возможно вместо спекулятивной философии, которая лишь задним числом понятийно расчленяет заранее данную истину, найти такую, которая

¹ Ясперс К. Смысл и назначение истории. — М., 1994. — С. 100.

непосредственно приступает к сущему и наступает на него, с тем, чтобы мы добыли познания о силе и действиях огня, воды, воздуха, звезд, небесного свода и всех прочих окружающих нас тел, причем это познание (элементов, стихий) будет таким же точным, как наше знание разнообразных видов деятельности наших ремесленников. Затем мы таким же путем сможем реализовать и применить эти познания для всех целей, для которых они пригодны, и таким образом эти познания (эти новые способы представления) сделают нас хозяевами и обладателями природы»¹.

Современник Р.Декарта Ф.Бэкон, также много сил потративший для обоснования необходимости развития науки как средства покорения природы, предложил знаменитый афоризм «Знание — сила». Ф.Бэкон пропагандировал эксперимент как главный метод научного исследования, нацеленный на то, чтобы пытаться мать-природу. Именно пытаться. Определяя задачи экспериментального исследования, Ф.Бэкон использовал слово «inquisition», имеющее вполне определенный ряд значений — от «расследование», «следствие» до «пытка», «мучение». С помощью такой научной инквизиции раскрывались тайны природы (сравни русское слово «естествоиспытатель»).

Стиль мышления в науке с тех пор характеризуется следующими чертами: опорой на эксперимент, поставляющий и проверяющий результаты; господством аналитического подхода, направляющего мышление на поиск простейших, далее неразложимых первоэлементов реальности (редукционизм).

Благодаря соединению этих двух основ возникло причудливое сочетание рационализма и эмпиризма, предопределившее грандиозный успех науки. Отметим как далеко не случайное обстоятельство, что наука возникла не только в определенное время, но и в определенном месте — в Европе XVI в.

Причина возникновения науки кроется в своеобразном типе новоевропейской культуры, соединившей в себе чувственность с рациональностью; чувственность, не дошедшую, как, скажем, в китайской культуре, до чувствительности, и рациональность, не дошедшую до духовности (как у древних греков). Никогда ранее не встречавшееся в истории культуры причудливое сочетание особой чувственности с особой рациональностью и породило науку как феномен западной культуры.

Западную культуру называли рациональной. Ее не похожая на греческую рациональность оказалась очень хорошо увязана с капиталистическим строем. Она позволила все богатство мира свести в однозначно детерминированную систему, обеспечившую за счет разделения труда и технических нововведений (тоже следствия рационализма) максимальную прибыль. Но у выдающегося

¹ Декарт Р. Рассуждения о методе // Избр. произв. — М., 1950. — С. 305.

социолога XX в. П. Сорокина были основания и для того, чтобы назвать западную культуру чувственной, поскольку она старалась прочно опираться на опыт. Для развития науки понадобились обе черты западной культуры, а также еще одна, также характерная для нее. «В греческом мышлении ответ на поставленный вопрос дается в результате убеждения в его приемлемости, в современном — посредством опытов и прогрессирующего наблюдения. В мышлении древних уже простое размышление называется исследованием, в современном — исследование должно быть деятельностью»¹. В науке нашла свое выражение еще одна специфическая черта западной культуры — ее деятельностная направленность.

Деятельностной направленности ума благоприятствовал умеренно-континентальный климат данного региона. Таким образом, объединилось влияние природных, социальных и духовных факторов.

Итак, если теперь попытаться дать общее определение науки, то оно будет выглядеть так: наука — *это особый рациональный способ познания мира, основанный на эмпирической проверке или математическом доказательстве*. Возникнув после философии и религии, наука стала в определенной степени синтезом этих двух предшествовавших ей отраслей культуры, результатом «существовавшей в Средние века непререкаемой веры в рациональность Бога, сочетающего личную энергию Иеговы с рациональностью греческого философа»².

Эволюция науки

Взаимоотношения науки с другими отраслями культуры не были безоблачными. Борьба за духовное лидерство принимала довольно жесткие, порой жестокие формы. В Средние века политическая и с нею духовная власть принадлежала религии, и это накладывало отпечаток на развитие науки. Вот что писал русский историк и философ Н. И. Кареев о взаимоотношениях науки и религии в то время: «На человеческую мысль была наложена церковью самая строгая опека: занятие наукой и ее преподавание поручалось только церковникам, за которыми, однако, власти бдительно следили... Церковь считала себя вправе силою приводить человека к истине и предавать его светской власти для казни “без пролития крови”, если он упорствовал... Крайний аскетический взгляд на знание приводил даже к отрицанию какой бы то ни было науки как суетного знания, ведущего к гибели»³.

¹ Ясперс К. Смысл и назначение истории. — М., 1994. — С. 104.

² Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986. — С. 92.

³ Кареев Н. И. Философия культуры и социальной истории нового времени. — СПб., 1893. — С. 65.

Наука должна была в основном служить иллюстрацией и доказательством теологических истин. Как отмечал Дж. Бернал, вплоть до XVIII в. наука продолжала интересоваться главным образом небом. Первой наукой стала астрономия. Но именно изучение неба и привело к последующему могуществу науки. Начиная с Коперника стало ясно, что наука — это не теология и обыденное знание. Борьба между наукой и религией вступила в решающую стадию. За торжество научного мировоззрения отдал жизнь Дж. Бруно, так когда-то за торжество философии и религии пожертвовали собой Сократ и Христос.

И вот парадокс: в начале IV в. до н. э. приговорили к смерти и заставили выпить чашу с ядом Сократа, и в том же веке философия победила, появились школы учеников Сократа и платоновская академия. В I в. распяли Христа, и в том же веке его ученики создали церковь, которая через два века победила философию. В XVII в. сожгли Дж. Бруно, и в том же веке наука победила религию. Торжество смерти оборачивалось торжеством духа, который оказывался сильнее смерти. Физическая власть утверждается насилием, духовная — жертвой.

Итак, культура развивается не только эволюционным путем накопления отдельных достижений, но и революционным путем смены значения ее отраслей. Программа Сократа достичь всеобщего блага посредством философского знания оказалась нереализованной и пала под давлением античного скептицизма. Люди поверили Христу и полтора тысячелетия ждали второго пришествия, но дожались индульгенций для богатых и костров инквизиции.

В эпоху Возрождения господство религиозного мышления и церкви было подорвано как изнутри, так и снаружи. Философские и религиозные усилия по созданию общезначимых знания и веры, приносящих людям счастье, не оправдались, но потребность в систематизации и единстве знаний и счастье осталась, и теперь наука дала надежды на ее реализацию.

Произошел великий поворот в развитии культуры — наука поднялась на ее высшую ступень. В современном виде наука сформировалась в XVI—XVII вв. и тогда же ей удалось одержать победу над другими отраслями культуры и прежде всего над господствовавшей в то время религией. Наука победила в XVII в. все другие отрасли культуры и сохраняла доминирующую роль до XX в. Своей победой она обязана прежде всего естествознанию, которое лежит в фундаменте научного знания.

С тех пор значение науки неуклонно возрастало вплоть до XX в., и вера в науку поддерживалась ее огромными достижениями. В середине XX в. в результате растущей связи науки с техникой произошло событие, равное по масштабу научной революции XVII в., получившее название научно-технической революции и знаменовавшее новый, третий, этап в развитии научного знания.

**Естествознание
в системе
наук**

Выяснив основные особенности современной науки, можно дать определение естествознанию. *Естествознание — это раздел науки, основанный на воспроизводимой эмпирической проверке гипотез и создании теорий или эмпирических обобщений, описывающих природные явления.*

Предмет естествознания — факты и явления, которые воспринимаются нашими органами чувств. Задача ученого — обобщить эти факты и создать теоретическую модель, включающую законы, управляющие явлениями природы. Следует различать факты опыта, эмпирические обобщения и теории, которые формулируют законы науки. Явления, например, тяготение, непосредственно даны в опыте, а законы науки, например, закон всемирного тяготения, — это варианты объяснения явлений. Факты науки, будучи установленными, сохраняют свое постоянное значение. Законы могут быть изменены в ходе развития науки, как, скажем, закон всемирного тяготения был скорректирован после создания теории относительности.

Значение чувств и разума в процессе нахождения истины — сложный философский вопрос. В науке признается истиной то положение, которое подтверждается воспроизводимым опытом. *Основной принцип естествознания гласит: знания о природе должны допускать эмпирическую проверку.* Не в том смысле, что каждое частное утверждение должно обязательно эмпирически проверяться, а в том, что опыт в конечном счете является решающим аргументом принятия данной теории.

Естествознание в полном смысле слова общезначимо и дает «родовую» истину, т. е. истину, пригодную и принимаемую всеми людьми. Поэтому оно традиционно рассматривалось в качестве эталона научной объективности. Другой крупный комплекс наук — обществознание — напротив, всегда был связан с групповыми ценностями и интересами, имеющимися как у самого ученого, так и в предмете исследования. Поэтому в методологии обществоведения наряду с объективными методами исследования приобретает большое значение переживание изучаемого события, субъективное отношение к нему и т. п.

От технических наук естествознание отличается нацеленностью на познание, а не на помощь в преобразовании мира, а от математики тем, что исследует природные, а не знаковые, системы.

Следует учитывать различие между естественными и техническими науками, с одной стороны, и фундаментальными и прикладными — с другой. Фундаментальные науки — физика, химия, астрономия — изучают базисные структуры мира, а прикладные занимаются применением результатов фундаментальных исследований для решения как познавательных, так и социаль-

но-практических задач. В этом смысле все технические науки являются прикладными, но далеко не все прикладные науки относятся к техническим. Такие науки, как физика металлов, физика полупроводников являются естественными прикладными дисциплинами, а металловедение, полупроводниковая технология — техническими прикладными науками.

Однако провести четкую грань между естественными, общественными и техническими науками в принципе нельзя, поскольку имеется целый ряд дисциплин, занимающих промежуточное положение или являющихся комплексными по своей сути.

На стыке естественных и общественных наук находится экономическая география, на стыке естественных и технических — бионика, а комплексной дисциплиной, которая включает и естественные, и общественные, и технические разделы, является социальная экология.

Внутренняя логика и динамика развития естествознания Развитие науки определяется внешними и внутренними факторами. К первым относится влияние государства, экономических, культурных, национальных установок, ценностных установок ученых. Вторые определяют и определяются внутренней логикой и динамикой развития науки. Не всегда первые можно четко отделить от вторых, и тем не менее данное разделение помогает раскрыть динамику развития науки.

Внутренняя динамика развития науки имеет свои особенности на каждом из уровней исследования. Эмпирическому уровню присущ кумулятивный характер, поскольку даже отрицательный результат наблюдения или эксперимента вносит свой вклад в накопление знаний. Теоретический уровень отличается более скачкообразным характером, так как каждая новая теория представляет собой качественное преобразование системы знания. Новая теория, пришедшая на смену старой, не отрицает ее полностью (хотя в истории науки имели место случаи, когда приходилось отказываться от ложных концепций теплорода, электрической жидкости и т. п.), но чаще ограничивает сферу ее применимости, что позволяет говорить о преемственности в развитии теоретического знания.

Вопрос о смене научных концепций является одним из наиболее злободневных в современной методологии науки. В первой половине XX в. основной структурной единицей исследования признавалась теория, и вопрос о ее смене ставился в зависимости от ее верификации (эмпирического подтверждения) или фальсификации (эмпирического опровержения). Главной методологической проблемой считалась проблема сведения теоретического уровня исследований к эмпирическому, что в конечном счете оказалось невозможным.

В начале 60-х гг. XX в. американский ученый Т. Кун выдвинул концепцию, в соответствии с которой теория до тех пор остается принятой научным сообществом, пока не подвергается сомнению основная парадигма (установка, образ) научного исследования в данной области. Динамика науки была представлена Т. Куном следующим образом:

старая парадигма → нормальная стадия развития науки →
→ революция в науке → новая парадигма.

Пока основные теоретические представления в данной науке не меняются, мы имеем дело с нормальной наукой. Если же они изменились, — значит произошла научная революция в данной отрасли знания.

Парадигмальная концепция развития научного знания была конкретизирована с помощью понятия «исследовательская программа» как структурной единицы более высокого порядка, чем отдельная теория. В рамках исследовательской программы и обсуждается вопрос об истинности научных теорий.

Еще более высокой структурной единицей является естественно-научная картина мира, которая объединяет в себе наиболее существенные естественно-научные представления эпохи.

Естественно-научная картина мира жизни картины мира — дело чистой науки», — писал выдающийся физик XX в.

М. Планк. Исторически первой естественно-научной картиной мира Нового времени была механистическая картина, которая напоминала часы: любое событие однозначно определяется начальными условиями, задаваемыми (по крайней мере в принципе) абсолютно точно. В таком мире нет места случайности. В нем возможен «демон Лапласа» — существо, способное охватить всю совокупность данных о состоянии Вселенной в любой момент времени, которое могло бы не только точно предсказать будущее, но и до мельчайших подробностей восстановить прошлое.

Представление о Вселенной как о гигантской заводной игрушке преобладало в XVII—XVIII вв. Оно имело религиозную основу, поскольку сама наука вышла из недр христианства. Бог как рациональное существо создал рациональный в своей основе мир. И человек как рациональное существо, созданное Богом по своему образу и подобию, способен познать мир. Такова основа веры классической науки в себя и людей в науку. Ограничив значение религии, человек эпохи Возрождения продолжал мыслить религиозно. Механистическая картина мира представляла Бога как часовщика и строителя Вселенной. Она основывалась на следующих принципах:

- связь теории с практикой;
- использование математики;

- эксперимент реальный и мысленный;
- критический анализ и проверка данных;
- главный вопрос — «как?», а не «почему?»;
- отсутствие «стрелы времени» (регулярность, детерминированность и обратимость траекторий).

В XIX в. термодинамика провозгласила парадоксальный вывод: «Если бы мир был гигантской машиной, то такая машина неизбежно должна была бы остановиться, так как запас полезной энергии рано или поздно был бы исчерпан». Затем теория эволюции Ч. Дарвина сдвинула интерес от физики в сторону биологии.

Главный результат современного естествознания, по В. Гейзенбергу, состоит в том, что оно разрушило неподвижную систему понятий XIX в. и усилило интерес к античной предшественнице науки — философской рациональности Аристотеля. «Одним из главных источников аристотелевского мышления явилось наблюдение эмбрионального развития — высокоорганизованного процесса, в котором взаимосвязанные, хотя и внешне независимые. События происходят как бы подчиняясь единому глобальному плану. Подобно развивающемуся зародышу, вся аристотелевская природа построена на конечных причинах. Цель всякого изменения, если оно сообразно природе вещей, состоит в том, чтобы реализовать в каждом организме идеал его рациональной сущности. В этой сущности, которая в применении к живому есть в одно и то же время его окончательная, формальная и действующая причина, — ключ к пониманию природы... рождение современной науки — столкновение между последователями Аристотеля и Г. Галилея — есть столкновение между двумя формами рациональности»¹.

Итак, можно выделить три картины мира: сущностную преднаучную, механистическую и эволюционную. Современная естественно-научная картина мира основывается на принципе саморазвития. В этой картине присутствуют человек и его мысль. Она эволюционна и необратима. В ней естественно-научное знание неразрывно связано с гуманитарным. Об этом мы будем подробно говорить в дальнейших разделах.

Вопросы для повторения

1. Каковы этапы развития естествознания?
2. В какой последовательности вы стали бы преподавать естественные науки и почему?
3. Что изучает естествознание в природе и человеке?
4. Почему первой наукой была астрономия, а второй — физика?
5. Как влияют на развитие науки внешние и внутренние факторы?
6. Что такое динамика развития научного знания?
7. Что такое парадигма?

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986. — С. 83—84.

8. В чем смысл понятия «научная революция»?
9. Что такое кумулятивность и преемственность в применении к научному знанию?
10. Что такое естественно-научная картина мира?
11. Дайте определения понятиям «верификация» и «фальсификация».

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Почему в Китае было развито иглоукалывание и определение диагноза по пульсу, а не хирургия, как на Западе?
2. Каково значение мысленного эксперимента в истории естествознания?
3. Что такое нормальная наука и научная революция?
4. Как происходит смена научных парадигм?
5. Почему физику называли «матерью наук»?
6. Чем отличаются научные революции от научно-технической?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Движение науки нужно сравнивать не с перестройкой какого-нибудь города, где старые здания немилосердно разрушаются, чтобы дать место новым постройкам, но с непрерывной эволюцией зоологических видов, которые беспрестанно развиваются и в конце концов становятся неузнаваемыми для простого глаза, но в которых опытный глаз всегда откроет следы предшествующей работы прошлых веков» (А. Пуанкаре).

«Классическая наука была порождена культурой, пронизанной идеей союза между *человеком*, находящимся на полпути между божественным порядком и естественным порядком, и *богом*, рациональным и понятным законодателем, уверенным архитектором, которого мы постигаем в нашем собственном образе. Она пережила момент культурного консонанса, позволявшего философам и теологам заниматься проблемами естествознания, а ученым расшифровывать замыслы творца и высказывать мнения о божественной мудрости и могуществе, проявленных при сотворении мира. При поддержке религии и философии ученые пришли к убеждению о самодостаточности своей деятельности, о том, что она исчерпывает все возможности рационального подхода к явлениям природы. Связь между естественно-научным описанием и натурфилософией в этом смысле не нуждалась в обосновании. Можно считать, что естествознание и философия конвергируют и что естествознание открывает принципы аутентичной натурфилософии. Но, как ни странно, самодостаточности, которой успели вкусить ученые, суждено было пережить и уход средневекового бога, и прекращение срока действия гарантии, некогда предоставленной естествознанию теологией. То, что первоначально казалось весьма рискованным предприятием, превратилось в торжествующую науку XVIII в., открывшую законы движения небесных и земных тел, включенную Д'Аламбером и Эйлером в полную и непротиворечивую систему, в науку, историю которой Лагранж определил как логическое достижение, стремящееся к совершенству. В честь нее создавали академии такие абсолютные монархи, как Людовик XIV, Фридрих II и Екатерина Великая. Именно эта наука сделала Ньютона национальным

героем. Иначе говоря, это была наука, *познавшая успех*, уверенная, что ей удалось *доказать* бессилие природы перед проникающей чело-веческого разума» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

III. Прокомментируйте схему.

Новые научные направления и их результаты

<i>Новое научное направление</i>	<i>Основные результаты</i>
Космология	Модель Большого взрыва и расширяющейся Вселенной
Астрофизика	Изучение эволюции небесных тел и процессов, происходящих в них
Геология	Тектоника литосферных плит
Теория относительности	Представление о взаимосвязи пространства и времени с материей и взаимопереходе материи и энергии
Квантовая механика	Корпускулярно-волновой дуализм и другие свойства микромира
Синергетика	Открытие механизма эволюции неживых систем и модель рождения материи
Генетика	Открытие механизмов самовоспроизводства в живых системах
Общая теория эволюции	Модель эволюции жизни
Экология	Взаимосвязь живых и неживых систем и закономерности развития экосистем
Этология	Поведение животных и соотношение инстинкта и научения
Социобиология	Выявление соотношения природного и социального в живых организмах
Кибернетика	Изучение переработки информации и поведения сложодинамических систем
Антропология	Открытие «человека умелого»
Психоанализ	Роль бессознательного в человеке
Нейрофизиология	Модель «расширяющегося сознания»
Методология науки	Концепция научных революций и изучение критериев проверки научного знания

Литература

- Кун Т. Структура научных революций. — М., 1975.
Фейерабенд П. Избранные труды по методологии науки. — М., 1986.
Ясперс К. Смысл и назначение истории. — М., 1994.

СТРУКТУРА И МЕТОДЫ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО
ПОЗНАНИЯУровни
естественно-научного
познания

Изучение естествознания нужно культурному человеку не только затем, чтобы обладать определенным объемом знаний, но и для понимания принципов мышления.

Итак, мы отправляемся в безбрежное море познания. Предположим, что вместе с И. Ньютоном мы лежим под деревом и наблюдаем падение яблока, которое, по преданию, натолкнуло ученого на открытие закона всемирного тяготения. Яблоки падали на голову не только И. Ньютона, но почему именно он сформулировал закон всемирного тяготения? Что помогло ему в этом: любопытство, удивление (с которого, по Аристотелю, начинается научное исследование) или, быть может, он и до этого изучал тяготение и падение яблока было не начальным, а завершающим моментом его раздумий? Как бы то ни было, мы можем согласиться с легендой в том, что именно обычный эмпирический факт падения яблока был отправной точкой для открытия закона всемирного тяготения. Будем считать эмпирические факты, т.е. факты нашего чувственного опыта, исходным пунктом развития естествознания, с которого начинается **эмпирический уровень** исследования.

Итак, мы начали наше научное исследование, точнее, оно началось с нами. Мы зафиксировали первый эмпирический факт, который, коль скоро он — отправная точка научного исследования, стал тем самым *научным фактом*.

Что дальше? Выдающийся французский математик начала XX в. А. Пуанкаре, описывая работу ученого, писал: «Наиболее интересными являются те факты, которые могут служить свою службу многократно, которые могут повторяться»¹. Да, это действительно так, потому что ученый хочет вывести законы развития природы, т.е. сформулировать некие положения, которые были бы верны во всех случаях жизни для однотипного класса явлений (это первое правило исследования). Для этого ученому нужно множество одинаковых фактов, которые потом он мог бы единообразно объяснить. Ученые, продолжает А. Пуанкаре, «должны предпочитать те факты, которые нам представляются про-

¹ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 289.

стыми, всем тем, в которых наш грубый глаз различает несходные составные части»¹.

Итак, мы должны ждать падения новых яблок, чтобы определить, действительно ли они падают всегда. Это уже можно назвать способом или методом исследования. Он называется *наблюдением* и в некоторых областях естествознания, например в астрономии, остается единственным и главным эмпирическим методом, исследования. Правда, чтобы наблюдать «большой мир» (мегамир), нужны мощные телескопы и радиотелескопы, которые улавливают космические излучения. Это тоже наблюдение, хотя и более сложное.

В нашем случае нет нужды ждать падения яблок. Мы можем потрясти яблоню и посмотреть, как будут вести себя яблоки, т.е. провести *эксперимент*, испытать объект исследований. Эксперимент — это «вопрос», который мы задаем природе и на который ждем от нее ясного ответа. «Эйнштейн говорил, что природа отвечает “нет” на большинство задаваемых ей вопросов и лишь изредка от нее можно услышать более обнадеживающее “может быть”... Каков бы ни был ответ природы — “да” или “нет”, — он будет выражен на том же теоретическом языке, на котором был задан вопрос»². Отличительной особенностью научного эксперимента является то, что его должен быть способен воспроизвести каждый исследователь в любое время.

Трясение яблони как простейший из возможных экспериментов убеждает нас, что все яблоки ведут себя одинаково. Однако чтобы вывести физический закон, мало одних яблок. Нужно рассмотреть и другие тела, причем чем меньше они похожи друг на друга, тем лучше. Здесь вступает в силу второе правило, противоположное первому: «Таким образом, интерес представляет лишь исключение»³.

Оказывается, что многие тела тоже падают на Землю, как будто на них действует некая сила. Можно предположить, что это одна и та же сила во всех случаях. Но на Землю падают не все тела. Это не относится к Луне, Солнцу и другим небесным телам, имеющим большую массу или удаленным от Земли на значительное расстояние. Налицо различие в поведении тел, над которым тоже стоит задуматься. Однако в поведении тел, которые на первый взгляд ведут себя совершенно различно, есть и нечто общее. По мнению А. Пуанкаре, «мы должны сосредоточить свое внимание главным образом не столько на сходствах и различиях, сколько на тех аналогиях, которые часто скрываются в кажущихся различиях»⁴. Найти аналогии в различиях — необходимый этап научного исследования.

¹ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 290.

² Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986. — С. 88.

³ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 291.

⁴ Там же. — С. 292.

Не над всеми телами можно провести эксперимент. Например, небесные светила можно только наблюдать. Но мы можем объяснить их поведение действием тех же самых сил, направленных не только в сторону Земли, но и от нее. Различие в поведении, таким образом, можно объяснить количеством силы, определяющей взаимодействие двух или нескольких тел.

Если же мы все-таки считаем эксперимент необходимым, то можем провести его на *моделях*, т.е. на телах, размеры и масса которых пропорционально уменьшены по сравнению с реальными телами. Результаты **модельных экспериментов** можно считать пропорциональными результатам взаимодействия реальных тел.

Помимо модельного эксперимента возможен **мысленный эксперимент**. Для этого понадобится представить себе тела, которых вообще не существует в реальности, и провести над ними эксперимент в уме. Значение *представления*, связанного с проведением мысленного, или идеального, эксперимента, хорошо объясняют в своей книге «Эволюция физики» А. Эйнштейн и Л. Инфельд. Дело в том, что все *понятия*, т.е. слова, имеющие определенное значение, которыми пользуются ученые, являются не эмпирическими, а рациональными, т.е. они не берутся нами из чувственного опыта, а являются творческими произведениями человеческого разума. Для того чтобы ввести их в расчеты, необходимы идеальные представления, например представления об идеально гладкой поверхности, идеально круглом шаре и т.п. Такие представления называются *идеализациями*.

В современной науке надо быть готовым к идеализированным экспериментам, т.е. мысленным экспериментам с применением идеализаций, с которых (а именно экспериментов Г. Галилея) и началась физика Нового времени. Представление и воображение (создание и использование образов) имеет в науке большое значение, но в отличие от искусства — это не конечная, а промежуточная цель исследования. Главная цель науки — выдвижение гипотез и создание теории как эмпирически подтвержденной гипотезы.

Понятия играют в науке особую роль. Еще Аристотель считал, что, описывая сущность, на которую указывает термин, мы объясняем его значение. А словесное выражение термина — это знак вещи. Таким образом, объяснение термина (а это и представляет собой определение понятия) позволяет нам понять данную вещь в ее глубочайшей сущности, недаром слова «понятие» и «понять» — однокоренные. По мнению К. Поппера, если в обычном словоупотреблении мы сначала ставим термин, а затем определяем его (например: «щенок — это молодой пес»), то в науке имеет место обратный процесс. Научную запись следует читать справа налево, отвечая на вопрос: «Как мы будем называть молодого пса?», а не «Что такое щенок?». Вопросы типа: «Что такое жизнь?» не имеют

в науке значения, и вообще определения как таковые не играют в науке заметной роли в отличие, скажем, от философии. Научные термины и знаки не что иное, как условные сокращения записей, которые иначе заняли бы гораздо больше места.

Формирование понятий относится к следующему уровню исследований, который является не эмпирическим, а **теоретическим**. Но прежде мы должны записать результаты эмпирических исследований, с тем чтобы каждый желающий мог их проверить и убедиться в их правильности.

По мнению А. Эйнштейна и Л. Инфельда, ученые должны собирать неупорядоченные факты и своим творческим мышлением делать их связанными и понятными. Поэтому их можно сравнить с детективами. Но в отличие от детектива, который только расследует дело, «ученый должен, по крайней мере, отчасти, сам совершить преступление, затем довести до конца исследование. Более того, его задача состоит в том, чтобы объяснить не один только данный случай, а все связанные с ним явления, которые происходили или могут еще произойти»¹.

На основании эмпирических исследований могут быть сделаны *эмпирические обобщения*, которые имеют значение сами по себе. В науках, которые называют эмпирическими, или описательными, как, скажем, геология, эмпирические обобщения завершают исследование, в экспериментальных, теоретических науках это только начало. Чтобы двинуться дальше, нужно придумать удовлетворительную гипотезу, объясняющую (в нашем примере) падение тел. Самих по себе эмпирических фактов для этого недостаточно. Необходимо все предшествующее знание, касающееся данной проблемы, в нашем случае прежде всего знание принципов механики, например представление о связи движения тела с приложением к нему силы, действующей в направлении движения (в данном случае к Земле), т. е. знание трех законов механики, которые сформулировал тот же Ньютон до закона всемирного тяготения.

На теоретическом уровне помимо эмпирических фактов требуются понятия, которые создаются заново или берутся из других (преимущественно ближайших) разделов науки. В данном случае это понятия массы и силы, которые были для Ньютона основными при выведении законов механики. Эти понятия должны быть определены и представлены в краткой форме в виде слов (называемых в науке терминами) или знаков (в том числе математических), каждый из которых имеет строго фиксированное значение.

«Эмпирическое обобщение опирается на факты, индуктивным путем собранные, не выходя за их пределы и не заботясь о согла-

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. — М., 1965. — С. 64.

сии или несогласии полученного вывода с другими существующими представлениями о природе... При гипотезе принимается во внимание какой-нибудь один или несколько важных признаков явления и на основании только их строится представление о явлении, без внимания к другим его сторонам. Научная гипотеза всегда выходит за пределы фактов, послуживших основой для ее построения»¹.

При выдвижении какой-либо гипотезы принимается во внимание не только ее соответствие эмпирическим данным, но и некоторые методологические принципы, получившие название критериев простоты, красоты, экономии мышления и т. п. «Я считаю, как и вы, — говорил В. Гейзенберг А. Эйнштейну, — что простота природных законов носит объективный характер, что дело не только в экономии мышления. Когда сама природа подсказывает математические формы большой красоты и простоты, — под формами я подразумеваю здесь замкнутые системы основополагающих постулатов, аксиом и т. п., — формы, о существовании которых никто еще не подозревал, то поневоле начинаешь верить, что они “истинны”, т. е. что они выражают реальные черты природы»².

После выдвижения определенной *гипотезы* (научного предположения, объясняющего причины данной совокупности явлений) исследование опять возвращается на эмпирический уровень для ее проверки. При проверке научной гипотезы должны проводиться новые эксперименты, задающие природе новые вопросы, исходя из сформулированной гипотезы. Цель — проверка следствий из этой гипотезы, о которых ничего не было известно до ее выдвижения.

Если гипотеза выдерживает эмпирическую *проверку*, то она приобретает статус *закона* (или, в менее выраженной форме, закономерности) природы. Такое подтверждение носит название верификации. Если же нет — считается опровергнутой, и поиски иной, более приемлемой, продолжаются. Научное предположение остается, таким образом, гипотезой до тех пор, пока еще не ясно, подтверждается она эмпирически или нет. Стадия гипотезы не может быть в науке окончательной, поскольку все научные положения в принципе эмпирически опровергаемы, и гипотеза, рано или поздно, или становится законом, или отвергается.

Принцип фальсифицируемости научных положений, т. е. их свойство быть опровергаемыми на практике, остается в науке непрекаемым. «В той степени, в которой научное высказывание говорит о реальности, оно должно быть фальсифицируемо, а в той степени, в которой оно не фальсифицируемо, оно не говорит о

¹ Вернадский В. И. Биосфера // Избр. соч. — М., 1960. — Т. 5. — С. 19.

² Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — С. 196.

реальности»¹. Отсюда можно сделать вывод, что главное в науке — сам процесс духовного роста, а не его результат, который более важен в технике.

«Нам следует привыкнуть понимать науку не как “совокупность знаний”, а как систему гипотез, т.е. догадок и предвосхищений, которые в принципе не могут быть обоснованы, но которые мы используем до тех пор, пока они выдерживают проверки, и о которых мы никогда не можем с полной уверенностью говорить, что они “истинны”, “более или менее достоверны” или даже “вероятны”»². Последнее утверждение относится к попытке Р. Карнапа разработать способы определения вероятности истинности гипотезы по степени ее подтверждения.

Проверочные эксперименты ставятся таким образом, чтобы не столько подтвердить, сколько опровергнуть данную гипотезу. «Итак, если установлено какое-нибудь правило, то прежде всего мы должны исследовать те случаи, в которых это правило имеет больше всего шансов оказаться неверным»³. Эксперимент, который направлен на опровержение данной гипотезы, носит название решающего эксперимента. Именно он наиболее важен для принятия или отклонения гипотезы, так как одного его достаточно для признания гипотезы ложной.

Вопрос об объективном статусе научного закона до сих пор является одним из наиболее дискуссионных в методологии естествознания. Еще Аристотель (благодаря философскому разделению явления и сущности) выдвинул положение, что наука изучает роды сущего. В современном понимании это и есть то, что называют законом природы. Существуют *естественные законы*, или законы природы, и *нормативные законы*, или нормы, запреты и заповеди, т.е. правила, которые требуют определенного образа поведения.

Нормативный закон может быть хорошим или плохим, но не «истинным» или «ложным». Если этот закон имеет значение, то он может быть нарушен, а если его невозможно нарушить, то он поверхностен и не имеет смысла. В противоположность нормативным естественные законы описывают неизменные регулярности, которые либо есть, либо нет. Их свойствами являются периодичность и всеобщность какого-либо класса явлений, т.е. необходимость их возникновения при определенных точно формулируемых условиях.

Закон природы, по А. Пуанкаре, — наилучшее выражение гармонии мира. «Закон есть одно из самых недавних завоеваний человеческого ума; существуют еще народы, которые живут среди не-

¹ Понпер К. Открытое общество и его враги. — М., 1992. — Т. 2. — С. 21.

² Там же. — С. 335.

³ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 291.

прерывного чуда и которые не удивляются этому. Напротив, мы должны были бы удивляться закономерности природы. Люди просят своих богов доказать их существование чудесами; но вечное чудо — в том, что чудеса не совершаются беспрестанно. Потому мир и божественен, что он полон гармонии. Если бы он управлялся произволом, то что доказывало бы нам, что он не управляется случаем? Этим завоеванием закона мы обязаны астрономии, и оно-то и создает величие этой науки, еще большее, чем материальное величие изучаемых ею предметов»¹.

Итак, естествознание изучает мир с целью творения законов его функционирования как продуктов человеческой деятельности, отражающих периодически повторяющиеся факты действительности.

О практическом значении познания законов природы А. Пуанкаре пишет так: «Завоевания промышленности, обогатившие стольких практических людей, никогда не увидели бы света, если бы существовали только люди практики!.. Необходимо, следовательно, чтобы кто-то думал за тех, кто не любит думать; а так как последних чрезвычайно много, то необходимо, чтобы каждая из наших мыслей приносила пользу столь часто, сколь это возможно, и именно поэтому всякий закон будет тем более ценным, чем более он будет общим»².

Совокупность нескольких законов, относящихся к одной области познания, называется **теорией**. В случае если теория в целом не получает убедительного эмпирического подтверждения, она может быть дополнена новыми гипотезами, которых, однако, не должно быть слишком много, так как это подрывает доверие к теории.

Подтвержденная на практике теория считается истинной вплоть до того момента, когда будет предложена новая теория, лучше объясняющая известные эмпирические факты, а также новые эмпирические факты, которые стали известны уже после принятия данной теории и оказались противоречащими ей.

Итак, наука строится из наблюдений, экспериментов, гипотез, теорий и проверки. Наука в содержательном плане — это совокупность эмпирических обобщений и теорий, подтверждаемых наблюдением и экспериментом. Причем творческий процесс создания теорий и их аргументации играет в науке не меньшую роль, чем наблюдение и эксперимент.

Схематично структура научного познания представлена на рисунке 1.

Итак, если не в самой природе, то по крайней мере в формулировании законов ее развития чудес не бывает. От падения ябло-

¹ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 157.

² Там же. — С. 289.

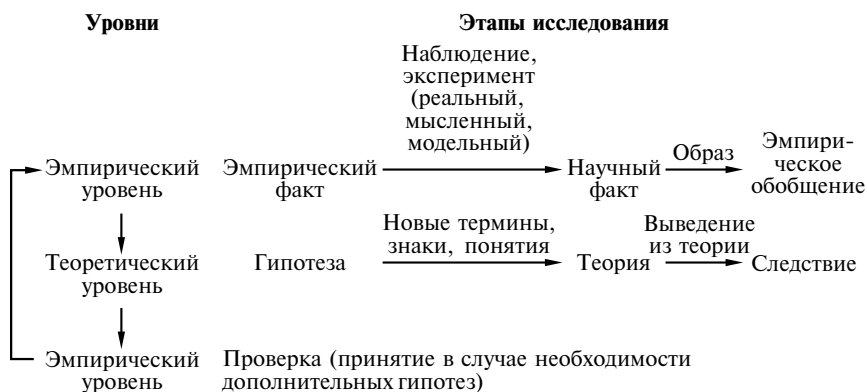


Рис. 1. Структура научного исследования

ка на голову И. Ньютона до открытия им закона всемирного тяготения — огромная дистанция, даже если в голове самого ученого она была пройдена мгновенно.

В целом данная структура исследований получила название гипотетико-дедуктивного метода в отличие от эмпирического метода, при котором имеет место только эмпирический уровень исследования, и аксиоматического, при котором присутствует только теоретический уровень.

Соотношение эмпирического и теоретического уровней исследования

Эмпирический и теоретический уровни знания различаются по предмету (во втором случае он может иметь свойства, которых нет у эмпирического объекта), средствам (на теоретическом уровне появляются новые методы: мыслительный эксперимент, аксиоматический метод и т.д.) и результатам исследования (в первом случае эмпирическое обобщение, во втором — гипотеза и теория).

Различие между эмпирическим и теоретическим уровнями исследований не совпадает с различием между чувственным и рациональным познанием, хотя эмпирический уровень преимущественно чувственен, а теоретический преимущественно рационален. Эмпирический уровень в науке не только чувственен, но и рационален потому, что при исследовании используются приборы, сконструированные на основе какой-либо теории. Теоретический уровень в науке не совпадает с рациональным, поскольку понятие рационального шире и существует не только научная рациональность, но и рациональность иных типов. Теоретическое отличается от рационального также тем, что в состав теоретического уровня входят представления (наглядные образы), которые являются формами чувственного восприятия.

Процесс научного поиска даже на теоретическом уровне не является строго рациональным. Непосредственно перед стадией научного открытия важно воображение, создание образов, а на самой стадии открытия большое значение имеет интуиция. Поэтому открытие нельзя логически вывести, как теорему в математике. О значении интуиции в науке свидетельствуют слова выдающегося математика К. Ф. Гаусса: «Вот мой результат, но я пока не знаю, как получить его».

Результат интуитивен, но аргументации в его защиту нет. Интуиция присутствует в науке (так называемое «чувство объекта»), но она ничего не значит в смысле обоснования результатов. Нужны еще объективные рациональные методы, которые все люди могут оценить.

Логика действует на стадии так называемой «нормальной науки» в рамках определенной парадигмы для обоснования выдвинутой гипотезы или теории. Однако имея в виду значение логики, следует помнить, что рассуждения в естествознании являются не доказательствами, а только выводами. Вывод свидетельствует об истинности рассуждения, если посылки верны, но не говорит об истинности посылок. Определение также сдвигает проблему значения к определяющим терминам, истинность которых гарантирует опыт. Термины и утверждения, которые можно непосредственно эмпирически проверить, получили название базисных.

Несмотря на методологическую ценность выделения эмпирического и теоретического, разделить эти два уровня в целостном процессе познания полностью невозможно, о чем свидетельствуют неудачные попытки в рамках неопозитивизма. Вопросу соотношения эмпирического и теоретического уровней исследования посвящено замечание А. Эйнштейна: «Но с принципиальной точки зрения желание строить теорию только на наблюдаемых величинах совершенно нелепо. Потому что в действительности все ведь обстоит как раз наоборот. Только теория решает, что именно можно наблюдать. Видите ли, наблюдение, вообще говоря, есть очень сложная система. Подлежащий наблюдению процесс вызывает определенные изменения в нашей измерительной аппаратуре. Как следствие, в этой аппаратуре разворачиваются дальнейшие процессы, которые в конце концов косвенным путем воздействуют на чувственное восприятие и на фиксацию результата в нашем сознании»¹. Сложное переплетение эмпирического и теоретического уровней познания особенно характерно для наиболее продвинутых областей экспериментальной и теоретической физики.

¹ Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — С. 191 — 192.

Методы научного познания

Структура научного исследования, описанная выше, представляет собой в широком смысле способ научного познания, или научный метод как таковой. *Метод* — это совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата. Первым на значение метода в Новое время указал французский математик и философ Р. Декарт в работе «Рассуждения о методе». Но еще ранее один из основателей эмпирической науки Ф. Бэкон сравнил метод познания с циркулем. Способности людей различны, и для того чтобы всегда добиваться успеха, требуется инструмент, который уравнивал бы шансы и давал возможность каждому получить нужный результат. Таким инструментом и является научный метод.

А. Пуанкаре справедливо подчеркивал, что ученый должен уметь делать выбор фактов. «Метод — это, собственно, и есть выбор фактов; и прежде всего, следовательно, нужно озаботиться изобретением метода»¹. Метод не только уравнивает способности людей, но также делает их деятельность единообразной, что является предпосылкой для получения единообразных результатов всеми исследователями.

Современная наука основывается на определенной методологии — совокупности используемых методов и учении о методе — и обязана ей очень многим. В то же время каждая наука имеет не только свой особый предмет исследования, но и специфический метод, имманентный предмету. Единство предмета и метода познания обосновал немецкий философ Гегель.

Следует четко представлять различия между методологиями естественно-научного и гуманитарного познания, вытекающими из различия их предмета. Во-первых, в методологии естественных наук обычно не учитывают индивидуальность предмета, поскольку его становление произошло давно и находится вне внимания исследователя, и замечают только изменение. В истории же наблюдают самое становление предмета в его индивидуальной полноте.

Во-вторых, социальное познание дает саморазрушающийся результат в том смысле, что познание изменяет саму социальную реальность («Знание законов биржи разрушает эти законы», — говорил основатель кибернетики Н. Винер).

В-третьих, если в естественно-научном познании все единичные факторы равнозначны, то в социальном познании это не так. Поэтому методология гуманитарного познания должна не только обобщать факты, но и принимать во внимание индивидуальные факты большого значения. Именно из них проистекает и ими объясняется объективный процесс.

¹ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 291.

По мнению В. Дильтея, в гуманитарно-научном методе заключается постоянное взаимодействие переживания и понятия. Переживание столь важно в гуманитарном познании именно потому, что сами понятия и общие закономерности исторического процесса производны от первоначального индивидуального переживания ситуации. Исходный пункт гуманитарного исследования индивидуален (у каждого человека свое бытие), стало быть, метод тоже должен быть индивидуален, что не противоречит целесообразности частичного пользования в гуманитарном познании приемами, выработанными другими учеными (метод как циркуль в понимании Ф. Бэкона).

В последующих главах мы покажем, что в современной науке намечается тенденция к сближению естественно-научной и гуманитарной методологии, но все же различия, причем принципиальные, пока остаются.

В соответствии с уровнями исследований выделяются эмпирические и теоретические методы.

К **эмпирическим методам** относятся: наблюдение — целенаправленное восприятие явлений объективной действительности; описание — фиксация средствами естественного или искусственного языка сведений об объектах; измерение — количественная характеристика свойств объектов; сравнение — сопоставление объектов по каким-либо сходным свойствам или сторонам; эксперимент — исследование в специально создаваемых и контролируемых условиях, что позволяет восстановить ход явления при повторении условий.

К **теоретическим методам** относятся: формализация — построение абстрактно-математических моделей, раскрывающих сущность изучаемых процессов действительности; аксиоматизация — построение теорий на основе аксиом (утверждений, доказательств истинности которых не требуется); гипотетико-дедуктивный метод — создание системы дедуктивно связанных между собой гипотез, из которых выводятся утверждения об эмпирических фактах.

Такие научные методы классифицируют по сфере использования метода во всех отраслях человеческой деятельности; во всех областях науки; в отдельных разделах науки. Соответственно выделяют всеобщие, общенаучные и конкретно-научные методы.

К **всеобщим методам** относятся:

анализ — расчленение целостного предмета на составные части (стороны, признаки, свойства или отношения) с целью их всестороннего изучения;

синтез — соединение ранее выделенных частей предмета в единое целое;

абстрагирование — отвлечение от несущественных для данного исследования свойств и отношений изучаемого явления с

одновременным выделением интересующих свойств и отношений;

обобщение — прием мышления, в результате которого устанавливаются общие свойства и признаки объектов;

индукция — метод исследования и способ рассуждения, при котором общий вывод строится на основе частных посылок;

дедукция — способ рассуждения, посредством которого из общих посылок с необходимостью следует заключение частного характера;

аналогия — прием познания, при котором на основе сходства объектов в одних признаках заключают об их сходстве в других признаках;

моделирование — изучение объекта (оригинала) путем создания и исследования его копии (модели), замещающей оригинал с определенных сторон, интересующих исследователя;

классификация — разделение всех изучаемых предметов на отдельные группы в соответствии с каким-либо важным для исследователя признаком (особенно часто используется в описательных — науках во многих разделах биологии, геологии, географии, кристаллографии и т. п.).

Примером *общенаучных методов* являются научные наблюдения и научный эксперимент, а *конкретно-научных*, каких множество в каждой науке, — известная всем из школьного курса химии «лакмусовая бумажка».

Большое значение в современной науке приобрели *статистические методы*. Они позволяют определить средние значения, характеризующие всю совокупность изучаемых предметов. «Применяя статистический метод, мы не можем предсказать поведение отдельного индивидуума совокупности. Мы можем только предсказать вероятность того, что он будет вести себя некоторым определенным образом... Статистические законы можно применять только к большим совокупностям, но не к отдельным индивидуумам, образующим эти совокупности»¹.

Статистические методы называются так потому, что впервые они были применены в статистике. В противоположность им все другие методы получили название *динамических*.

Характерной особенностью современного естествознания является то, что методы исследования все в большей степени влияют на его результат (так называемая «проблема прибора» в квантовой механике).

Следует различать методологию науки как учение о методах и методику как описание применения конкретных методов исследования.

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики: Развитие людей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов. — М., 1965. — С. 231.

**Применение
математических
методов
в естествознании**

После триумфа классической механики И. Ньютона количественные методы стали применяться и в других науках. Так, А. Л. Лавуазье, систематически используя в своих опытах весы, заложил основы количественного химического анализа. Разработка И. Ньютоном и Г. В. Лейбницем (независимо друг от друга) дифференциального и интегрального исчисления, развитие статистических методов анализа, связанных с познанием вероятностного характера протекания многих природных процессов, способствовали проникновению математических методов в другие естественные науки.

«Все законы выводятся из опыта. Но для выражения их нужен специальный язык. Обиходный язык слишком беден, кроме того, он слишком неопределен для выражения столь богатых содержанием точных и тонких соотношений. Таково первое основание, по которому физик не может обойтись без математики; она дает ему единственный язык, на котором он в состоянии изъясняться»¹.

Дифференциальное и интегральное исчисление хорошо подходит для описания изменения скоростей движений, а вероятностные методы — для изучения необратимости и создания нового. Все можно описать количественно и тем не менее остается проблемой отношение математики к реальности. По мнению одних методологов, чистая математика и логика используют доказательства, но не дают нам никакой информации о мире (почему А. Пуанкаре и считал, что законы природы конвенциональны), а только разрабатывают средства его описания. Однако еще Аристотель писал, что число есть промежуточное между частным предметом и идеей, а Г. Галилей полагал, что Книга Природы написана языком математики.

Не имея непосредственного отношения к реальности, математика не только описывает эту реальность, но и позволяет, как в уравнениях Дж. К. Максвелла, делать новые интересные и неожиданные выводы о реальности из теории, которая представлена в математической форме. Как же объяснить истинность математики и ее пригодность для естествознания? Может, все дело в том, что «механизм математического творчества, например, не отличается существенно от механизма какого бы то ни было иного творчества»². Или более пригодны сложные, системные объяснения?

По мнению других методологов, законы природы не сводятся к написанным на бумаге математическим соотношениям. Их надо понимать как любой вид организованности идеальных прообразов вещей, или пси-функций. Есть три вида организованности: про-

¹ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 220.

² Там же. — С. 285.

стейший — числовые соотношения; более сложный — ритмика 1-го порядка, изучаемая математической теорией групп; самый сложный — ритмика 2-го порядка — «слово». Два первых вида организованности наполняют Вселенную мерой и гармонией, третий — смыслом. В рамках этого объяснения математика занимает особое место в познании.

Так или иначе, подобные методологические разработки тесно связаны с дискуссиями по основаниям математики и перспективам ее развития, сводящимся к следующим темам: как математика соотносится с миром и дает возможность познавать его; какой способ познания преобладает в математике — дискурсивный или интуитивный; как устанавливаются математические истины — путем конвенции или с помощью более объективных критериев.

Вопросы для повторения

1. Какова структура научного познания?
2. Как соотносятся эмпирический и теоретический уровни познания?
3. Чем отличается наблюдение от эксперимента?
4. Что такое модель и модельный эксперимент?
5. Какова роль научных понятий и терминов?
6. В чем отличие закона природы от нормативного закона?
7. Что такое мысленный эксперимент и зачем он нужен в науке?
8. Что является критерием разделения методов на всеобщие, общенаучные и конкретно-научные?
9. Приведите примеры всеобщих, общенаучных и конкретно-научных методов.

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что такое всеобщность теории (на примере утверждения типа «все вороны черные»)?
2. Какое значение имеет решающий эксперимент и что это такое?
3. Как происходит процесс образования понятий?
4. Почему «понятие» и «понять» — однокоренные слова?
5. Что означает часто встречающийся ответ студента: «Я знаю, но сказать словами не могу»?
6. Что значит объяснить какое-либо явление?
7. Что значит определить слово или термин?
8. Какую роль играют образы в науке и искусстве?
9. Каковы методы, инструменты и способы научного познания?
10. Сколько существует уровней научного познания?
11. Можно ли разделить теоретический уровень исследования от эмпирического и если нет, то почему?
12. Что такое базисные утверждения и почему они так называются?
13. Чем различаются наблюдение, эксперимент и моделирование?

14. Каковы условия проведения научного эксперимента?
15. Как вы понимаете утверждение, что Книга Природы написана языком математики?
16. Как вообще понимать выражение «Книга Природы»?
17. Являются ли числа основой или ключом к природе?
18. Какова роль в науке: гипотезы, метода, теории, эксперимента, математики, моделирования, индукции, дедукции, анализа, синтеза, интуиции, дискуссии, детерминистских и вероятностных подходов и т.п.?
19. Чем научный закон отличается от правового?
20. Что такое закон природы как устойчивая, существенная связь между явлениями?
21. Что такое структура?
22. Каково строение научного знания?
23. Что такое эмпирические и теоретические методы?
24. Что такое научный метод?
25. Что такое верификация и фальсификация?
26. Что такое гипотетико-дедуктивный метод и чем он отличается от эмпирического и аксиоматического методов?
27. Что такое логика и методология научного исследования?
28. Чем методология отличается от методики?
29. Что такое универсальная, общенаучная и конкретно-научная методология?
30. В чем различие гипотезы, теории и теоретической модели?
31. Чем отличаются рациональное и чувственное соответственно от теоретического и эмпирического?
32. Чем предмет исследования отличается от объекта?
33. Что такое научный факт?
34. Какие существуют методы проверки научного знания?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Одной из главных задач науки в целом является краткое и простое формулирование фактов» (Г. Селье).

«Наиболее интересными являются те факты, которые могут служить свою службу многократно, которые могут повторяться» (А. Пуанкаре).

«Таким образом, интерес представляет лишь исключение» (А. Пуанкаре).

«Мы (ученые. — А. Г.) должны предпочитать те факты, которые нам представляются простыми, всем тем, в которых наш грубый глаз различает несходные составные части» (А. Пуанкаре).

«Однако мы должны сосредоточить свое внимание главным образом не столько на сходствах и различиях, сколько на тех аналогиях, которые часто скрываются в кажущихся различиях» (А. Пуанкаре).

«Механизм математического творчества, например, не отличается существенно от механизма какого бы то ни было иного творчества» (А. Пуанкаре).

«Метод — это, собственно, и есть выбор фактов; и прежде всего, следовательно, нужно озаботиться изобретением метода» (А. Пуанкаре).

«Метод — это циркуль» (Ф. Бэкон).

«Вот мой результат, но я пока не знаю, как его получить» (К. Гаусс).

«Природа весьма согласна и подобна себе самой» (И. Ньютон).

«Почему однородное состояние теряет устойчивость? Почему потеря устойчивости приводит к спонтанной диффузии? Почему вообще существуют вещи? Являются ли они хрупкими и бранными следствиями несправедливости, нарушения статического равновесия между противоборствующими силами природы? Может быть, силы природы создают вещи и обуславливают их автономное существование — вечно соперничающие силы любви и ненависти, стоящие за рождением, ростом, увяданием и рассыпанием в прах? Является ли изменение не более чем иллюзией или, наоборот, проявлением неутрахающей борьбы между противоположностями, образующими изменяющуюся вещь? Сводится ли качественное изменение к движению в вакууме атомов, отличающихся только по форме, или же атомы сами состоят из множества качественно различных “зародышей”, каждый из которых отличен от другого?» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Открытый современной наукой экспериментальный диалог с природой подразумевает *активное вмешательство*, а не пассивное наблюдение. Перед учеными ставится задача научиться управлять физической реальностью, вынуждать ее действовать в рамках “сценария” как можно ближе к теоретическому описанию. Исследуемое явление должно быть предварительно препарировано и изолировано, с тем чтобы оно могло служить приближением к некоторой *идеальной ситуации*, возможно физически недостижимой, но согласующейся с принятой концептуальной схемой» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Природа, как на судебном заседании, подвергается с помощью экспериментирования перекрестному допросу именем априорных принципов. Ответы природы записываются с величайшей точностью, но их правильность оценивается в терминах той самой идеализации, которой физик руководствуется при постановке эксперимента» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Из конкретной сложности и многообразия явлений природы необходимо выбрать одно-единственное явление, в котором с наибольшей вероятностью ясно и однозначно должны быть воплощены следствия из рассматриваемой теории. Это явление затем надлежит абстрагировать от окружающей среды и “инсценировать” для того, чтобы теорию можно было подвергнуть воспроизводимой проверке, результаты и методы которой допускали бы передачу любому заинтересованному лицу» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Мы считаем экспериментальный диалог неотъемлемым достижением человеческой культуры. Он дает гарантию того, что при исследовании человеком природы последняя выступает как нечто *независимо* существующее. Экспериментальный метод служит основой коммуникабельной и воспроизводимой природы научных результатов. Сколько бы отрывочно ни говорила природа в отведенных ей экспериментом рамках, высказавшись однажды, она не берет своих слов назад: природа никогда не лжет» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Экспериментирование означает не только достоверное наблюдение подлинных фактов, не только поиск эмпирических зависимостей между

явлениями, но и предполагает систематическое взаимодействие между теоретическими понятиями и наблюдением» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Достоинство хорошей метóды состоит в том, что она уравнивает способности; она вручает всем средство легкое и верное. Делать круг от руки трудно, надобно навык и прочее; циркуль стирает различие способностей и дает каждому возможность делать круг самый правильный» (Ф. Бэкон).

«Теория Максвелла — это уравнения Максвелла» (Г. Герц).

III. Прокомментируйте схему.

Структура, методы и принципы научного исследования

Эмпирический факт (упало яблоко) → эмпирический предмет исследования (абстрагирование) → наблюдение (телескоп, микроскоп, радиотелескоп) → эксперимент (мысленный, реальный, модельный) → эмпирическое обобщение (представление, индукция) → теоретический предмет исследования (анализ) → образ → гипотеза (интуиция) → формула (математическое моделирование) → теория (дискурсия) → следствия (дедукция) → эмпирическая проверка (верификация, фальсификация) → *ad hoc* (дополнительные) гипотезы → научный закон (синтез) → новые факты → новые эксперименты → новая теория → изменение парадигмы (исследовательской программы) → научная революция

Литература

Поппер К. Логика и рост научного знания. — М., 1983.

Пуанкаре А. О науке. — М., 1983.

Структура и развитие науки: Сб. пер. / Сост., вступ. ст., общ. ред. Б. С. Грязнова, В. С. Садовского. — М., 1978.

СОВРЕМЕННАЯ АСТРОНОМИЯ

**Проблема
происхождения
Вселенной**

Во все времена люди хотели знать, как возник наш мир. Когда в культуре господствовали мифологические представления, происхождение мира объяснялось, как, скажем в «Ведах», распадом первочеловека Пуруши. То, что это была общая мифологическая схема, подтверждается и русскими апокрифами, например, «Голубиной книгой». Победа христианства утвердила представления о сотворении Богом мира из «ничего».

С появлением науки в ее современном понимании на смену мифологическим и религиозным приходят научные представления о происхождении Вселенной. Следует разделять три близких термина: «бытие», «универсум» и «Вселенная». Первый — философский и обозначает все существующее (бытующее). Второй употребляется и в философии, и в науке (не имея специфической философской нагрузки в плане противопоставления бытия и сознания) и обозначает все как таковое. Значение термина «Вселенная» уже приобрело специфически научное звучание. Вселенная — место вселения человека, доступное эмпирическому наблюдению. Постепенное сужение научного значения термина «Вселенная» вполне понятно, так как естествознание, в отличие от философии, имеет дело только с тем, что эмпирически проверяемо современными научными методами.

Вселенную в целом изучает космология, т.е. наука о космосе. Слово это тоже неслучайно. Хотя сейчас космосом называют все, находящееся за пределами атмосферы Земли, не так было в Древней Греции. Космос тогда воспринимался как «порядок», «гармония», в противоположность хаосу — «беспорядку». Таким образом, космология, в основе своей, как и подобает науке, открывает упорядоченность нашего мира и нацелена на поиск законов его функционирования. Открытие этих законов и представляет собой цель изучения Вселенной как единого упорядоченного целого.

Это изучение зиждется на нескольких предпосылках. Во-первых, формулируемые физикой универсальные законы функционирования мира считаются действующими во всей Вселенной. Во-вторых, производимые астрономами наблюдения тоже признаются распространенными на всю Вселенную. И, в-третьих, истинны-

ми признаются только те выводы, которые не противоречат возможности существования самого наблюдателя, т.е. человека (так называемый антропный принцип).

Выводы космологии называются моделями происхождения и развития Вселенной. Почему моделями? Дело в том, что одним из основных принципов современного естествознания является представление о возможности проведения в любое время управляемого и воспроизводимого эксперимента над изучаемым объектом. Только если можно провести бесконечное в принципе количество экспериментов и все они приводят к одному результату, на основе этих экспериментов делают заключение о наличии закона, которому подчиняется функционирование данного объекта. Лишь в этом случае результат считается вполне достоверным с научной точки зрения.

Ко Вселенной в целом это методологическое правило остается неприменимым. Наука формулирует универсальные законы, а Вселенная уникальна. Это — противоречие, которое требует считать все заключения о происхождении и развитии Вселенной не законами, а лишь моделями, т.е. возможными вариантами объяснения. Строго говоря, все законы и научные теории являются моделями, поскольку они могут быть заменены в процессе развития науки другими концепциями, но модели Вселенной в большей степени модели, чем многие иные научные утверждения.

**Модель
расширяющейся
Вселенной**

Общепринятая в космологии — модель однородной изотропной нестационарной горячей расширяющейся Вселенной, построенная на основе общей теории относительности и релятивистской теории тяготения, созданной А. Эйнштейном в 1916 г. В основе этой модели лежат два предположения: свойства Вселенной одинаковы во всех ее точках (однородность) и направлениях (изотропность); наилучшее известное описание гравитационного поля — уравнения Эйнштейна. Из этого следует так называемая кривизна пространства и связь кривизны с плотностью массы (энергии). Космология, основанная на этих постулатах, — *релятивистская*.

Важный признак данной модели — ее нестационарность. Это определяется двумя постулатами теории относительности: 1) принципом относительности, гласящим, что во всех инерционных системах все законы сохраняются вне зависимости от того, с какими скоростями равномерно и прямолинейно движутся эти системы друг относительно друга; 2) экспериментально подтвержденным постоянством скорости света.

Из теории относительности следовало, что искривленное пространство не может быть стационарным: оно должно или расширяться или сжиматься. Первым это заметил петербургский физик и математик А.А. Фридман в 1922 г. В 1922—1924 гг. он выдвинул

гипотезу расширения Вселенной. Эмпирическим подтверждением этой гипотезы стало открытие американским астрономом Э. Хабблом в 1929 г. так называемого «красного смещения».

Астрономы изучают небесные тела по принимаемому от них излучению. Это излучение с помощью особых призм раскладывают, получая так называемый спектр, состоящий из семи основных цветов. Иногда мы видим на небе естественно образующийся спектр — раду. Она появляется потому, что водяные капли разделяют солнечный луч на его составляющие. Ученые получают спектр искусственным путем. Каждое тело имеет свой особый спектр, т.е. определенное соотношение между цветами. Изучая его, можно сделать вывод о составе тел, скорости и направлении их движения.

«Красное смещение» — это понижение частот электромагнитного излучения: в видимой части спектра линии смещаются к его красному концу. Согласно обнаруженному ранее эффекту Доплера, при удалении от нас какого-либо источника колебаний воспринимаемая частота колебаний уменьшается, а длина волны соответственно увеличивается. При излучении происходит «покраснение», т.е. линии спектра сдвигаются в сторону более длинных красных волн.

Облегчает обнаружение «красного смещения» то обстоятельство, что проходящий через какую-либо среду свет поглощается химическими элементами данной среды. Так как энергетические уровни, на которых находятся электроны, входящие в состав химических элементов, различны, то каждый химический элемент поглощает особую часть света, оставляя темные линии в спектре прошедшего через него луча. По поглощенной части спектра можно определить состав среды, через которую прошел свет, а также скорость движения испускающего свет объекта. Темные линии смещаются при удалении объекта от нас в сторону красной части спектра.

Для всех далеких источников света «красное смещение» было зафиксировано, причем, чем дальше находился источник, тем в большей степени. «Красное смещение» оказалось пропорционально расстоянию до источника, что и подтверждало гипотезу об удалении их, т.е. о расширении Метагалактики — видимой части Вселенной. Открытие «красного смещения» позволило сделать вывод о разбегании галактик и расширении Вселенной. «Красное смещение» надежно подтверждает теоретический вывод о нестационарности нашей Вселенной.

Если Вселенная расширяется, значит она возникла в определенный момент времени. Как это произошло? Составной частью модели расширяющейся Вселенной является представление о Большом взрыве, происшедшем примерно 13,7 плюс-минус 0,2 млрд лет назад. Автор модели Большого взрыва Г.А. Гамов, ученик А.А. Фридма-

на, а сам термин «Большой взрыв» впервые ввел английский астроном Ф. Хойлу. «Вначале был взрыв. Не такой взрыв, который знаком нам на Земле и который начинается из определенного центра и затем распространяется, захватывая все больше и больше пространства, а взрыв, который произошел одновременно везде, заполнив с самого начала все пространство, причем каждая частица материи устремилась прочь от любой другой частицы»¹.

Начальное состояние Вселенной (так называемая точка сингулярности — от англ. «*single*» — единственный) характеризуется следующими свойствами: бесконечная плотность массы, пространство в виде точки и взрывное расширение. Модель Большого взрыва подтверждена открытием в 1965 г. реликтового излучения фотонов и нейтрино, образовавшихся на ранней стадии расширения Вселенной. Предсказание реликтового излучения было следствием модели Большого взрыва и расширяющейся Вселенной, а его обнаружение — подтверждением данного следствия. Слово «реликтовое» здесь неслучайно: так, реликтовыми животными называют виды, появившиеся в древности и существующие в наши дни.

Возникает вопрос: из чего же образовалась Вселенная? В Библии утверждается, что Бог создал «все из ничего». После того, как в классической науке были сформулированы законы сохранения материи и энергии, некоторые философы предполагали, что под «ничем» имелся в виду первоначальный материальный хаос, упорядоченный Богом.

Как это ни удивительно, современная наука допускает, что все могло создаться из ничего. «Ничего» в научной терминологии называется *вакуумом*. Вакуум, который физика XIX в. считала пустотой, по современным научным представлениям является своеобразной формой материи, способной при определенных условиях «рождать» другие ее формы. Квантовая механика допускает, что вакуум может приходить в «возбужденное состояние», вследствие чего в нем может образоваться поле, а из него (что подтверждается современными физическими экспериментами) — вещество.

Рождение Вселенной «из ничего» означает, с современной научной точки зрения, ее самопроизвольное возникновение из вакуума, когда в отсутствие частиц происходит спонтанное возникновение энергетического потенциала, т. е. поля как одного из видов физической материи. Напряженность поля не имеет определенного значения (по «принципу неопределенности» Гейзенберга): поле постоянно испытывает флуктуации, хотя среднее (наблюдаемое) значение напряженности равно нулю.

¹ Вейнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. — М., 1981. — С. 30.

Благодаря флуктуациям вакуум приобретает особые свойства. В вакууме «частицы непрерывно создаются из ничего как флуктуации энергии, и затем разрушаются снова, но исчезают настолько быстро, что непосредственно никогда не могут наблюдаться. Такие частицы называют виртуальными»¹. Флуктуация представляет собой появление виртуальных частиц, которые непрерывно рождаются и сразу же уничтожаются, но так же участвуют во взаимодействиях, как и реальные частицы. «Можно сказать, что каждая из сталкивающихся частиц окружена облаком виртуальных частиц. Когда частицы задевают друг друга краями своих облаков, виртуальные частицы превращаются в реальные»².

Итак, Вселенная могла образоваться из «ничего», т.е. из «возбужденного вакуума». Такая гипотеза, конечно, не является подтверждением искусственного творения мира. Все это могло произойти в соответствии с законами физики естественным путем без вмешательства извне каких-либо идеальных сущностей. И в этом случае научные гипотезы не подтверждают и не опровергают религиозные догмы, которые лежат по ту сторону эмпирически подтверждаемого и опровергаемого естествознания.

На этом удивительное в современной физике не кончается. Отвечая на просьбу журналиста изложить суть теории относительности в одной фразе, А. Эйнштейн сказал: «Раньше полагали, что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы; теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время». Перенеся этот вывод на модель расширяющейся Вселенной, можно заключить, что до образования Вселенной (если наша Вселенная единственна) не было ни пространства, ни времени.

Отметим, что теория относительности соответствует двум разновидностям модели расширяющейся Вселенной. В первой из них кривизна пространства — времени отрицательна или в пределе равна нулю; в этом варианте все расстояния со временем неограниченно возрастают. Во второй разновидности модели кривизна положительна, пространство конечно, и в этом случае расширение со временем заменяется сжатием. В обоих вариантах теория относительности согласуется с нынешним эмпирически подтвержденным расширением Вселенной.

Человеческий ум неизбежно задается вопросами: что же было тогда, когда не было ничего и что находится за пределами расширения. Первый вопрос очевидно противоречив сам по себе, второй выходит за рамки конкретной науки. Астроном может сказать, что как ученый он не вправе отвечать на такие вопросы. Но

¹ Лидсей Д. Э. Рождение Вселенной. — М., 1981. — С. 44—45.

² Черепашук А. М., Чернин А. Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. — Фрязино, 2007. — С. 273.

поскольку они все же возникают, формулируются и возможные обоснования ответов, которые не столько научные, сколько натурфилософские.

Так, проводится различие между терминами «бесконечный» и «безграничный». Примером бесконечности, которая не безгранична, служит поверхность Земли: мы можем идти по ней бесконечно долго, но тем не менее она ограничена атмосферой сверху и земной корой снизу. Вселенная также может быть бесконечной, но ограниченной. С другой стороны, известна точка зрения, в соответствии с которой в материальном мире не может быть ничего бесконечного, потому что он развивается в виде конечных систем с петлями обратной связи, которыми эти системы создаются в процессе преобразования среды.

Оставим эти соображения натурфилософии, потому что в естествознании в конечном счете критерием истины являются не абстрактные мысли, а эмпирическая проверка гипотез.

Что происходило на начальных этапах эволюции Вселенной, получивших название Большого взрыва? Главенствующей в космологии является гипотеза постепенной эволюции физической материи и образования существующих физических сил из первоначальной единой суперсилы. Выделяют следующие этапы Большого взрыва: *инфляционный, суперструнный, этап великого объединения, электрослабый, кварковый, этап нуклеосинтеза*.

Когда возраст Вселенной был менее 10^{-43} с, произошло ее интенсивное расширение (раздувание), названное инфляцией (хорошо всем известное слово употреблено здесь в особом специфическом смысле). «...раздувание предлагает естественный механизм для создания больших пространственных размеров во Вселенной»¹. Что расширялось при отсутствии в пространстве материи? Само пространство, а именно три пространственных измерения (в целом пространственных измерений на ранних стадиях эволюции Вселенной и в настоящее время насчитывают до 10). Это *инфляционный этап*. «Когда раздувание закончилось, произошла огромная передача энергии. Энергия, которая управляла инфляционным расширением, преобразовалась в элементарные частицы и излучение, что закончилось драматическим увеличением температуры Вселенной»².

Когда возраст Вселенной достиг 10^{-43} с, появились первые материальные объекты, получившие название суперструн, поскольку по аналогии с обычными струнами они имеют длину и свойство колебаться. У струн нет толщины, а протяженность порядка 10^{-33} см. Это *суперструнный этап*. Предполагается, что колебания струн способны порождать все возможные частицы и физические

¹ Лидсей Д. Э. Указ. соч. — М., 2005. — С. 119.

² Там же. — С. 160.

поля. При этом «обычные» частицы и физические поля живут только в реальном мире с числом измерений $3+1$ (три пространственных плюс время). «Привлекательная особенность такой картины состоит в том, что она дает возможность рассматривать все частицы в виде одного и того же фундаментального объекта — суперструны... Характеристики суперструны, такие как растяжение и энергия колебаний, могут изменяться, и эти вариации проявляются как частицы с различными свойствами... Другая привлекательная особенность суперструнной теории состоит в том, что взаимодействия частиц естественно объясняются разрывом струны на части или соединением отдельных кусков вместе»¹.

На каждом последующем этапе по мере расширения Вселенной температура постепенно снижалась, определяя протекающие физические процессы. Следующий этап назван *этапом великого объединения*, поскольку единая суперсила разбилась в начале его на силу гравитации и силу великого объединения. На данном этапе продолжили расширяться только три пространственных измерения, известные нам как длина, ширина и высота. Снижение температуры заставило струны сжаться, и они начали походить на точечные объекты, которые известны сегодня как элементарные частицы и античастицы. В этот период элементарные частицы обменивались частицами, ответственными за перенос силы великого объединения и были неразличимы между собой.

В возрасте Вселенной 10^{-35} с сила великого объединения расщепилась на сильную и электрослабую силы. Начался *электрослабый этап*. Элементарные частицы утратили способность взаимодействовать между собой посредством силы великого объединения и разделились на кварки и лептоны, но благодаря электрослабой силе взаимодействия с излучением и были неотличимы от него.

В возрасте Вселенной 10^{-10} с произошло расщепление электрослабых сил на слабые и электромагнитные. Начался *кварковый этап*. В начале его в отсутствие электрослабой силы более влиятельной стала сильная сила, которая объединила кварки в протоны и нейтроны.

В возрасте Вселенной 10^{-4} с при температуре в миллиард градусов начался процесс образования ядер атомов водорода и гелия (нуклеосинтез). Соответственно этот *этап* получил название *нуклеосинтеза*. Полностью данный процесс был закончен в течение приблизительно трех минут.

В последующие 300 000 лет Вселенная продолжила расширяться, а температура понизилась до 3 000 градусов. Из ядер атомов и электронов стали образовываться атомы и началась *эра вещества*. Появление атомов может рассматриваться как окончание Большого взрыва.

¹ Лидсей Д. Э. Рождение Вселенной. — С. 67.

На этапах возникновения вещества Вселенная состояла из плотной смеси элементарных частиц, находившихся в состоянии плазмы (нечто среднее между твердым и жидким состоянием). Плазма расширялась все больше и больше под действием взрывной волны. Соответственно, температура ее падала и в результате менялся состав вещества. «...когда температура была выше 1 млрд градусов, электромагнитное излучение имело достаточно энергии, чтобы разрушить любые ядра, которые, возможно, возникали. Аналогично, если атом так или иначе сумел сформироваться, когда температура была более, чем три тысячи градусов, излучение вскоре сталкивалось с ним и выбивало электроны, делая их свободными. Ниже этой температуры энергия излучения была уже недостаточной для того, чтобы освобождать электроны, и поэтому атомы выживали»¹. Через 0,01 с после начала Большого взрыва во Вселенной появилась смесь легких ядер ($2/3$ водорода и $1/3$ гелия). По своему химическому составу Вселенная и в настоящее время более чем на 90 % состоит из водорода и гелия.

«Так как свободные заряженные частицы, способные взаимодействовать с основной частью излучения, отсутствовали, оно осталось, по существу, неискаженным при дальнейшем расширении Вселенной»². Поскольку атомы нейтральны, а фотоны, из которых состоит излучение, отрицательно заряжены, излучение, когда сформировались атомы, отделилось от вещества. Обнаружение этого излучения, названного реликтовым, и стало решающим подтверждением модели Большого взрыва.

Что касается этапов Большого взрыва, то они ждут своей эмпирической проверки на современных мощных ускорителях типа Большого адронного коллайдера, на котором искусственно воссоздаются условия, существовавшие на ранних этапах эволюции Вселенной. Большой адронный коллайдер изучает взаимодействие элементарных частиц путем разгона их до энергии, при которой существенную роль играют и квантовые эффекты и эффекты общей теории относительности. Более подробно об этом будет говориться в главах, посвященных развитию физики.

Эволюция и строение галактик

Вопрос об образовании и строении галактик — следующий важный вопрос происхождения Вселенной. Его изучает не только *космология* как наука о Вселенной — едином целом, но также и *космогония* (от греч. «*gonos*» означает рождение) — область науки, в которой изучается происхождение и развитие космических тел и их систем (различают галактическую, звездную, планетную космогонию).

¹ Там же. — С. 77.

² Там же. — С. 78.

Как образовались галактики и звезды? Плотность вещества во Вселенной была неодинакова в различных частях и к областям большей плотности притягивалось вещество из соседних областей. Области высокой плотности становились, таким образом, еще плотнее. Формировались так называемые «острова» материи, которые начинали сжиматься из-за собственной гравитации. В пределах «островов» образовывались отдельные «мини-острова» с еще более высокой плотностью. Из первоначальных «островов» образовались галактики, а из «мини-островов» — звезды. Процесс этот завершился в течение 1 млрд лет.

Галактики представляют собой гигантские скопления звезд и их систем, имеющие свой центр (ядро) и различную, не только сферическую, но часто спиралевидную, эллиптическую, сплюснутую или вообще неправильную форму. Галактик миллиарды и в каждой из них насчитываются миллиарды звезд.

Наша галактика называется *Млечный Путь*. Само слово «галактика» происходит от греч. *galaktikos* — молочный. Так называли потому, что скопление звезд напоминает белесое облако. Наша галактика относится к группе спиралевидных галактик и состоит из трех частей. 100 млрд звезд галактики сосредоточено в гигантском «диске» толщиной около 1 500 световых лет, а диаметром приблизительно 100 тыс. световых лет. Двигутся звезды по почти круговым орбитам вокруг центра галактики. На расстоянии около 30 тысяч световых лет от центра галактики в «диске» расположено Солнце. Вторую часть галактики составляет *сферическая подсистема*, в которой также около 100 млрд звезд. Но движутся они по сильно вытянутым орбитам, плоскости которых проходят через центр галактики. Диаметр сферической подсистемы близок к диаметру «диска». Третья, внешняя, часть галактики называется *гало*. Размер ее в 10 раз больше размеров диска и состоит она из темного вещества, названного так потому, что в нем нет звезд и из него не исходит никакого света. Его нельзя увидеть, а узнали о нем по наличию тяготения. Масса темного вещества в гало в 10 раз больше суммарной массы всех звезд галактики.

Из чего состоит темное вещество — неясно. Предположений много: от элементарных частиц до звезд-карликов. Космологическая среда в целом состоит из четырех компонентов: 1) темная энергия; 2) темное вещество; 3) барионы (обычное вещество); 4) излучение. Излучение состоит из реликтового (фотоны), нейтрино и антинейтрино.

Темная энергия (или космический вакуум) — «это такое состояние космической среды, которое обладает постоянной во времени и всюду одинаковой в пространстве плотностью — и притом

¹ Черепашук А. М., Чернин А. Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. — Фрязино, 2007. — С. 229.

в любой системе отсчета»¹. О физической природе темной энергии ничего не известно. Последние наблюдения показывают, что 6—8 млрд лет назад замедляющееся расширение сменилось ускоренным. Причиной считают то, что ранее 6—8 млрд лет назад преобладало тяготение, а затем антитяготение. Это служит аргументом в пользу наличия темной энергии. «На космический вакуум приходится 67 % всей энергии мира, на темное вещество — 30 %, на обычное вещество — 3 %»¹.

Ближайшая к нашей галактика (которую световой луч достигает за 2 млн лет) — «Туманность Андромеды». Она названа так потому, что именно в созвездии Андромеды в 1917 г. был открыт первый внегалактический объект. Его принадлежность к другой галактике была доказана в 1924 г. Э. Хабблом, нашедшим путем спектрального анализа в этом объекте звезды. Размеры «Туманности Андромеды» сравнимы в размерами нашей галактики. Позже были открыты другие галактики.

Галактики собраны в группы от нескольких единиц до тысяч — скопления галактик. Наше скопление называется *Местная группа* (ее размеры — 60 размеров Млечного Пути). Название галактик из Местной группы — Туманность Андромеды, Треугольник, Большое Магелланово Облако, Малое Магелланово Облако и т. д. Скопления сгруппированы в сверхскопления. В центре нашего сверхскопления — скопление Дева. Всего во Вселенной существуют сотни миллиардов галактик.

Галактики, скопления и сверхскопления распространены во Вселенной равномерно. Однородность галактик означает, что ни одна из них не является центром мира. В целом на каждые 10 м пространства приходится 1 атом водорода. Компактные массивные сгущения в центральных частях галактик называются ядрами галактик.

Астрономия и космонавтика

Звезды изучает *астрономия* (от греч. «*astron*» — звезда и «*nomos*» — закон) — наука о строении и развитии космических тел и их систем. Эта классическая наука переживала в XX в. свою вторую молодость в связи с бурным развитием техники наблюдений (телескопы-рефлекторы, приемники излучения — антенны и т. п.) — основного своего метода исследований. В астрономии исследуются радиоволны, свет, инфракрасное, ультрафиолетовое, рентгеновское излучения и гамма-лучи. Астрономия делится на небесную механику, радиоастрономию, астрофизику и другие дисциплины.

Особое значение приобретает в настоящее время *астрофизика* — часть астрономии, изучающая физические и химические процессы, происходящие в небесных телах, их системах и в космическом пространстве. В отличие от физики, в основе которой

¹ Там же. — С. 233.

лежит эксперимент, *астрофизика основывается главным образом на наблюдениях*. Но во многих случаях условия, в которых находится вещество в небесных телах и системах, отличаются от условий, доступных современным лабораториям (сверхвысокие и сверхнизкие плотности, высокая температура и т.д.). Благодаря этому астрофизические исследования приводят к открытию новых физических закономерностей.

Собственное значение астрофизики определяется тем, что в настоящее время основное внимание в релятивистской космологии переносится на физику Вселенной — состояние вещества и физические процессы, идущие на разных, включая наиболее ранние, стадиях расширения Вселенной.

Один из основных методов астрофизики — спектральный анализ. Если пропустить луч белого солнечного света через узкую щель, а затем сквозь стеклянную трехгранную призму, то он распадается на составляющие цвета и на экране появится радужная цветовая полоска с постепенным переходом от красного к фиолетовому — непрерывный спектр. Красный конец спектра образован лучами, наименее отклоняющимися при прохождении через призму, фиолетовый — наиболее отклоняющимися. Каждому химическому элементу соответствуют вполне определенные спектральные линии, что и позволяет использовать данный метод для изучения веществ.

К сожалению, коротковолновые излучения — ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи — не проходят сквозь атмосферу Земли, и здесь на помощь астрономам приходит наука, которая до недавнего времени рассматривалась прежде всего как техническая — космонавтика (от греч. «*kosmo*» — порядок и «*nautiké*» — искусство кораблевождения), обеспечивающая освоение космоса для нужд человечества с использованием летательных аппаратов.

Космонавтика изучает проблемы: теории космических полетов — расчеты траекторий и т.д.; *научно-технические* — конструирование космических ракет, двигателей, бортовых систем управления, пусковых сооружений, автоматических станций и пилотируемых кораблей, научных приборов, наземных систем управления полетами, служб траекторных измерений, телеметрии, организации и снабжения орбитальных станций и др.; *медико-биологические* — создание бортовых систем жизнеобеспечения, компенсация неблагоприятных явлений в человеческом организме, связанных с перегрузкой, невесомостью, радиацией и др.

История космонавтики начинается с теоретических расчетов выхода человека в неземное пространство, которые дал К. Э. Циолковский в труде «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (1903). Работы в области ракетной техники начаты в СССР в 1921 г. Первые запуски ракет на жидком топливе осуществлены в США в 1926 г.

Основными вехами в истории космонавтики стали запуск первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г., первый полет человека в космос 12 апреля 1961 г., лунная экспедиция в 1969 г., создание орбитальных пилотируемых станций на околоземной орбите, запуск космического корабля многоразового использования.

Работы велись параллельно в СССР и США, но в последние годы наметилось объединение усилий в области исследования космического пространства. В 1995 г. осуществлен совместный проект «Мир» — «Шаттл», в котором американские корабли «Шаттл» использовались для доставки космонавтов на российскую орбитальную станцию «Мир».

Возможность изучать на орбитальных станциях космическое излучение, задерживаемое атмосферой Земли, способствует существенному прогрессу в области астрофизики. Особенно много данных получено от находящегося на орбите космического телескопа «Хаббл».

Современным наблюдениям доступен объем мира с радиусом 10 млрд световых лет. Так как возраст Вселенной 13,7 млрд лет, а световой луч идет к Земле со скоростью света, то «глядя на самые далекие из доступных наблюдениям источники света — гигантские галактики и квазары, мы видим, таким образом, Вселенную, какой она была около десяти миллиардов лет назад»¹.

Строение и эволюция звезд

Поэт спрашивал: «Послушайте! Ведь, если звезды зажигают, значит, это кому-нибудь нужно?». Мы знаем, что Солнце дает необходимую для нашего существования энергию. Водород, атом которого состоит из одного протона в ядре и одного электрона на его орбите, — самый простой «кирпичик», из которого в недрах звезд образуются в процессе атомных реакций более сложные атомы. Причем оказывается, что звезды совершенно неслучайно имеют различную величину. Чем больше масса звезды, тем более сложные атомы синтезируются в ее недрах.

Наше Солнце, как обычная звезда, производит только гелий из водорода, очень массивные звезды производят углерод — главный «кирпичик» живого вещества. Вот для чего нужны звезды. Земля производит все необходимые вещества для поддержания жизни человека. А для чего существует человек? На этот вопрос не может ответить наука, но она может заставить нас еще раз задуматься над ним. Если «зажигание» звезд кому-то нужно, то может и человек кому-то нужен? Научные данные помогают нам сформулировать представление о нашем предназначении, о смысле нашей жизни. Обращаться при ответе на эти вопросы к эволюции Все-

¹ Черепашук А. М., Чернин А. Д. Указ. соч. — С. 26.

ленной — значит мыслить космически. Естествознание учит мыслить космически, не отрываясь от реальности нашего бытия.

Существуют две основные концепции происхождения небесных тел. Первая основывается на небулярной модели образования Солнечной системы, выдвинутой в XVIII в. французским физиком и математиком П. Лапласом и развитой немецким философом И. Кантом. В соответствии с нею звезды и планеты образовались из рассеянного диффузного вещества (космической пыли) путем постепенного сжатия первоначальной туманности под действием сил гравитации.

Принятие модели Большого взрыва и расширяющейся Вселенной существенным образом повлияло на модели образования небесных тел. Сейчас общепринято, что звезды происходят из «мини-островов», о которых говорилось в разделе «Эволюция и строение галактик». Как только водородное облако становится звездой, выходящее из него излучение начинает противодействовать сжатию. «В процессе взаимодействия между веществом и излучением устанавливается равновесие; давление направленного наружу излучения точно уравновешивается давлением гравитации, создаваемого веществом. Это состояние чрезвычайно устойчиво и дальнейшее сжатие звезды предотвращено до тех пор, пока в ее центре производится достаточное количество излучения. Размер звезд остается постоянным, пока происходит слияние водорода в гелий. Это равновесие объясняет, почему Солнце настолько устойчиво и не свертывается в себя или не взрывается»¹.

При разработке модели расширяющейся Вселенной ученые встретились с несколькими трудностями обоснования, которые способствовали прогрессу астрономии. Разлетаясь после Большого взрыва из точки с бесконечно большой плотностью, сгустки вещества должны слегка притормаживать друг друга силами взаимного притяжения, и скорость их должна падать. Но для торможения не хватает всей массы Вселенной. Из этого возражения родилась в 1939 г. гипотеза о наличии во Вселенной невидимых «черных дыр», которые хранят $\frac{9}{10}$ массы Вселенной (т. е. столько, сколько не хватает). Дж. Уилер назвал их «черными дырами», потому что они не излучают свет, а любой объект, приблизившийся к ним на слишком малое расстояние, никогда не возвращается назад.

Что представляют собой «черные дыры»? Если некоторая масса вещества оказывается в сравнительно небольшом объеме, критическом для данной массы, то под действием собственного тяготения такое вещество начинает неудержимо сжиматься. Быстрое гравитационное сжатие называется *гравитационным коллапсом*. В результате сжатия растет концентрация массы и наступает

¹ Лидсей Д. Э. Указ. соч. — С. 21—22.

момент, когда сила тяготения на поверхности становится столь велика, что для ее преодоления надо развить скорость бóльшую, чем скорость света, что невозможно по теории относительности. Поэтому «черная дыра» ничего не выпускает наружу и не отражает и, стало быть, ее невозможно обнаружить. Границей «черной дыры» является *горизонт события*, находясь на котором можно еще не быть поглощенным ею. В «черной дыре» пространство искривляется, а время замедляется. Различают три возможных типа «черных дыр»: 1) образующиеся на поздних стадиях эволюции массивных звезд; 2) сверхмассивные «черные дыры» в ядрах галактик; 3) первичные «черные дыры», образовавшиеся на ранних стадиях развития Вселенной. Поскольку теоретически Вселенная может порождать другие Вселенные из своих «черных дыр», появилась гипотеза множественности Вселенных (мультимира), которую в настоящее время невозможно эмпирически подтвердить или опровергнуть. Существует и гипотеза испарения «черных дыр», в результате которого она исчезает. Сами «черные дыры» еще не обнаружены, хотя астрономы ведут наблюдения над «кандидатами» в «черные дыры».

Все небесные тела можно разделить на испускающие энергию — звезды, и не испускающие — планеты, кометы, метеориты, космическая пыль. Промежуточное между звездой и планетой тело — коричневый карлик. В его недрах нет термоядерных реакций из-за низкой температуры, но он светится за счет гравитационного сжатия (интервал масс 0,01 — 0,008 массы Солнца). В 1995 г. у одной из звезд удалось открыть планету, вращающуюся вокруг нее. В настоящее время считается, что планетные системы существуют вокруг нескольких миллиардов звезд.

Энергия звезд генерируется в их недрах ядерными процессами при температурах, достигающих десятки миллионов градусов, что сопровождается выделением особых частиц огромной проникающей способности — нейтрино. *Звезды — это «фабрики» по производству химических элементов и источники света и жизни.* Большинство звезд состоит из водорода и гелия, и в их недрах происходит термоядерная реакция превращения водорода в гелий, которая имела место и в течение Большого взрыва. Большие массивные звезды производят непрерывную цепочку термоядерных реакций превращения водорода в гелий, гелия в углерод, углерода в кислород и так далее вплоть до элементов группы железа. Этот процесс происходил в недрах звезд миллиарды лет после Большого взрыва, в течение которого могли быть произведены только водород и гелий. Более тяжелые, чем водород и гелий, элементы синтезируются и при вспышках сверхновых звезд.

Звезды движутся вокруг центра галактики по сложным орбитам. Могут быть звезды, у которых меняются блеск и спектр — переменные звезды (Кита) и нестационарные (молодые) звезды,

а также звездные ассоциации, возраст которых не превышает 10 млн лет. Существуют очень крупные звезды — красные гиганты и сверхгиганты, и нейтронные звезды, масса которых близка к массе Солнца, но радиус составляет $1/50\,000$ от солнечного (10—20 км); они называются так потому, что состоят из огромного сгустка нейтронов. Нейтронные звезды образуются из звезд с определенной массой железных ядер на поздних стадиях их эволюции.

Когда горючее исчерпывается, звезда начинает коллапсировать. Электроны останавливают коллапс обычной звезды. В недрах более массивных звезд гравитационное давление уменьшает расстояние между частицами до такого, в пределах которого начинает действовать слабая сила. Протоны начинают объединяться с электронами, превращаясь в нейтроны. Последние предотвращают дальнейший коллапс. «Внешние области звезды выбрасываются во внешнее пространство, и огромное количество энергии освобождается в таком процессе. Яркость звезды увеличивается на много порядков. Когда смотрят издалека, звезда кажется взорвавшейся, и такое явление называют вспышкой *сверхновой звезды*. Это то самое время, когда производятся самые тяжелые элементы из-за экстремальных температур, которые достигаются в этот период»¹. «Быстрое сжатие (коллапс) железного ядра звезды приводит к образованию нейтронной звезды радиусом около 10 км и плотностью вещества, достигающей сотен миллионов см^3 »². Энергия вращения преобразуется в направленное радиоизлучение, благодаря которому эти объекты были обнаружены в 1967 г. и названы пульсарами. *Пульсары* — космические источники радио-оптического, рентгеновского и гамма-излучения, приходящего на Землю в виде периодически повторяющихся всплесков. У радиопульсаров (быстро вращающихся нейтронных звезд) периоды импульсов — 0,03—4 с, у рентгеновских пульсаров (двойных звезд, где к нейтронной звезде перетекает вещество от второй, обычной звезды) периоды составляют несколько секунд.

А в 1963 г. были открыты квазары (квазизвездные радиоисточники) — самые мощные источники радиоизлучения во Вселенной со светимостью в сотни раз большей светимости галактик и размерами в десятки раз меньшими их.

К интересным небесным телам, которым часто приписывалось сверхъестественное значение, относятся *кометы*. Под воздействием солнечного излучения из ядра кометы выделяются газы, образующие обширную голову кометы. Воздействие солнечного излучения и солнечного ветра обуславливает образование хвоста, иногда достигающего миллионов километров в длину. Выделяемые газы уходят в космическое пространство, вследствие чего при каж-

¹ Лидсей Д. Э. Указ. соч. — С. 205.

² Черепашук А. М., Чернин А. Д. Указ. соч. — С. 71.



Рис. 3. Процесс эволюции звезд

дом приближении к Солнцу комета теряет значительную часть своей массы. В результате кометы живут относительно недолго (тысячелетия и столетия).

Небо только кажется спокойным. В нем постоянно происходят катастрофы и рождаются новые и сверхновые звезды, во время вспышек которых светимость звезды возрастает в сотни тысяч раз. Эти взрывы характеризуют *галактический пульс*. Таким образом, помимо Большого взрыва есть еще и меньшие взрывы, в результате которых рождаются звезды.

В конце эволюционного цикла, когда все водородное горючее истрачено, звезда сжимается до бесконечной плотности (масса остается прежней). Обычная звезда превращается в «белого карлика» — звезду, имеющую относительно высокую поверхностную температуру (от 7 тыс. до 30 тыс. градусов) и низкую светимость, во много раз меньшую светимости Солнца.

Предполагается, что одной из стадий эволюции нейтронных звезд является образование новой и сверхновой звезды, когда звезда увеличивается в объеме, сбрасывает свою газовую оболочку и в течение нескольких суток выделяет энергию, света, как миллиарды солнц. Затем, исчерпав ресурсы, звезда тускнеет.

Если звезда имела сверхкрупные размеры, то в конце ее эволюции частицы и лучи, едва покинув поверхность, тут же падают обратно из-за сил гравитации, т.е. образуется «черная дыра».

Процесс эволюции звезд представлен на рисунке 3.

Белые карлики и нейтронные звезды затем могут снова участвовать в процессе звездообразования. Наличие в спектре нашего Солнца следов углерода, кислорода и других элементов, которые не могли образоваться на самом Солнце, свидетельствует о том, что оно сформировалось из материала, некогда входившего в состав вырабатывавших тяжелые химические элементы звезд. Что касается «черных дыр», то помимо гипотезы образования из них новых вселенных, существует гипотеза об их постепенном испарении и последующем исчезновении. Через 30—50 млрд лет все

звезды, как предполагается, погаснут, а материал для образования новых светил будет исчерпан. Но к этому моменту наша Вселенная может породить новую (или новые) вселенные.

Солнечная система и ее происхождение

Дж. Бруно в своем сочинении «О бесконечности, вселенной и мирах», вышедшей в 1584 г., предположил, что Солнце лишь одна из великого множества звезд Вселенной.

Это предвидение подтвердилось.

Солнце — плазменный шар (плотность — $1,4 \text{ г/см}^3$) с температурой поверхности 6 тыс. градусов, в атмосфере которого — короне — происходят вспышки — протуберанцы. На Солнце имеются пятна — участки с температурой 1—100 млн градусов, из которых под влиянием магнитного поля Солнца не вырывается свет до определенного момента, когда происходит взрыв и магнитное поле (магнитная буря) достигает Земли. Когда заряженные частицы Солнца проникают в полярные части Земли, их соединение с магнитным полем Земли приводит к свечению (полярное сияние). Излучение Солнца — солнечная активность — имеет цикл 11 лет.

Источником солнечной энергии являются *термоядерные реакции превращения водорода в гелий*, о чем свидетельствует наличие этих элементов в солнечной хромосфере. Гелий обнаружили на Солнце в XIX в. и так как его не было на Земле, его назвали от имени Солнца — Гелиос. Первоначально Солнце состояло в основном из водорода, под действием гравитации он сжимался, температура увеличилась до 10 млн градусов, электроны покидали атомы и начались термоядерные реакции превращения водорода в гелий. На нынешнем Солнце эта реакция идет при температуре 15 млн градусов. Исходя из имеющихся запасов водорода в Солнце, оно будет существовать приблизительно еще 5 млрд лет. Первым теоретические расчеты необходимой для ядерной реакции температуры произвел А. Эддингтон. Немецкий физик Г. Бете (Нобелевский лауреат 1967 г.) рассчитал реакции термоядерного синтеза гелия из водорода на Солнце, но прямых подтверждений пока нет, так как отсутствуют данные о внутреннем строении Солнца.

Скорость движения Солнца вокруг оси галактики — 250 км/с. Солнечная система совершает один полный оборот вокруг галактического центра за 180 млн лет. Ближайшая к Солнцу звезда Проксима Центавра расположена на расстоянии 40 трлн км.

Возраст Солнечной системы, зафиксированный по древнейшим метеоритам, составляет порядка 5 млрд лет. Общепринята гипотеза, по которой Земля и все планеты сконденсировались из космического облака, расположенного в окрестностях Солнца. На окраине нашей галактики взорвалась сверхновая звезда и ее ядро врезалось в облако газа. Обломки сверхновой образовали планеты вокруг Солнца, а оно само сформировалось в результате начав-

шихся термоядерных реакций. Предполагается, что частицы, из которых образовалось вещество солнечной системы, состояли из химического элемента железа с примесью никеля, либо из силикатов, в состав которых входит кремний. Газы тоже присутствовали и конденсировались, образуя органические соединения, в состав которых входит углерод. Затем образовались углеводороды и соединения азота.

Солнечная система состоит из 9 планет: *Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна, Плутона*. Все планеты движутся в единой плоскости (за исключением Плутона) по почти круговым орбитам. То, что все планеты вращаются в одной плоскости, свидетельствует о том, что они образовались из одного диска. От центра до окраины Солнечной системы (до Плутона) 6 млрд км. Расстояние от Солнца до Земли около 150 млн км, что составляет 107 его диаметров.

Малые планеты, как и большинство спутников планет, не имеют атмосферы, так как сила тяготения на их поверхности недостаточна для удержания газов. В атмосфере Венеры преобладает углекислый газ, в атмосфере Юпитера — аммиак. На Луне и Марсе имеются кратеры вулканического происхождения. Луна находится от Земли на расстоянии 400 000 км.

В начале 1970-х гг. была выдвинута гипотеза, что Луна сформировалась вместе с Землей, но затем с Землей столкнулось какое-то небесное тело и вылетевшие из нее расплавленные обломки соединились, образовав Луну. Эта гипотеза возникла потому, что собранный лунный грунт состоит из тех же пород того же возраста, что и земной, но расплавленных и без наличия воды.

Вопросы для повторения

1. На чем основывается модель расширяющейся Вселенной?
2. Что такое однородность и изотропность Вселенной?
3. Что такое «красное смещение»?
4. В чем различие понятий: «Вселенная», «бытие», «космос», «Универсум»?
5. Что такое точка сингулярности?
6. Что такое реликтовое излучение?
7. Каковы этапы Большого взрыва?
8. Как образовались галактики и звезды?
9. Из каких частей состоит наша галактика?
10. Что такое темное вещество и темная энергия?
11. Почему светят звезды?
12. Какие процессы происходят в недрах звезд?
13. Чем красные гиганты отличаются от обычных звезд?
14. Каковы основные концепции происхождения звездных систем?
15. Каковы основные концепции происхождения Солнечной системы?

16. Чем различаются космология, космогония, астрономия, астрофизика, космонавтика?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что значит стационарность и нестационарность Вселенной?
2. В чем разница между бесконечностью и безграничностью?
3. В каком смысле можно говорить о реликтовом излучении как об «ископаемом»? Что оно дало ученым? Почему оно не было обнаружено раньше?
4. Как можно доказать, что все произошло из «ничего»?
5. Чем отличается гравитационный коллапс от антиколлапсионного взрыва?
6. Какие процессы происходят в недрах галактики?
7. Какова структура галактики?
8. Что такое галактика, звезда, планета?
9. Чем «черная дыра» отличается от «белой дыры»?
10. Какова масса Солнца?
11. Из скольких планет состоит Солнечная система?
12. Чем звезды отличаются от планет и комет?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Уже само наше существование влечет за собой строгий отбор типов Вселенной, которую мы могли бы познавать» (Дж. Барроу).

«Вот человек, следовательно, какой же должна быть Вселенная?» (Дж. Уилер).

«Евангелие от Иоанна» начинается так: «В начале было Слово». Что мог бы сказать современный ученый: «В начале было...» (дополните фразу).

«...Таким образом, вхождение времени в физику явилось заключительным этапом все более широкого “восстановления прав” истории в естественных и социальных науках. Интересно отметить, что на каждом этапе этого процесса наиболее важной отличительной особенностью “историизации” было открытие какой-нибудь временной неоднородности. Начиная с эпохи Возрождения западное общество вступало в контакт со многими цивилизациями, находившимися на различных этапах развития; в XIX в. биология и геология открыли и классифицировали ископаемые формы жизни и научились распознавать в ландшафтах сохранившиеся до нашего времени памятники прошлого; наконец, физика XX в. также открыла своего рода “ископаемое” — реликтовое излучение, поведавшее нам о “первых минутах” Вселенной. Ныне мы твердо знаем, что живем в мире, где сосуществуют в неразрывной связи различные времена и ископаемые различных эпох» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

III. Прокомментируйте схему.

Эволюция Вселенной

Большой взрыв → темная эра → образование звездных систем
? ? ?

Вместо вопросительных знаков поставьте названия частиц, элементов и веществ, образовавшихся на каждой из этих стадий.

Литература

- Вейнберг С.* Первые три минуты. — М., 1981.
Лидсей Дж. Э. Рождение Вселенной. — М., 2005.
Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. — М., 1988.
Хойл Ф. Галактики, ядра и квазары. — М., 1968.
Черепащук А.М., Чернин А.Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. — Фрязино, 2007.
Ходж П. Революция в астрономии. — М., 1972.
Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. — М., 1976.
Шкловский И.С. Звезды, их рождение, жизнь и смерть. — М., 1975.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

СОВРЕМЕННЫЕ НАУКИ О ЗЕМЛЕ

**Эволюция
и строение Земли**

Земля, как и другие планеты Солнечной системы, образовалась из газопылевого облака, окружавшего Солнце, не более, чем через примерно 0,5 млрд лет после образования Солнца. Радиус Земли 6,3 тыс км. Масса 6^{21} тонн. Плотность $5,5 \text{ г/см}^3$. Скорость вращения Солнца вокруг Земли составляет 30 км/с. Основными компонентами облака были водород, гелий, а также присутствовали более тяжелые химические элементы. Когда земной шар стал остывать, более тяжелые металлы такие, как железо и никель, опустились в расплавленное ядро, а более легкие элементы такие, как кремний, начали формировать земную кору.

Земля состоит из внутренних и внешних оболочек. Среди внутренних оболочек выделяют *мантию* и *внутреннее и внешнее ядро*. Внутреннее ядро твердое и состоит в основном из железа. Во внешнем ядре, жидком, наряду с железом присутствует никель, кремний, сера и кислород. Выше ядра располагается мантия. Она составляет 70 % массы Земли и делится на верхнюю и нижнюю. Верхняя мантия состоит из силикатов железа и магния, нижняя включает смесь окислов магния, кремния и железа. Мантия — твердая, за исключением располагающейся в верхней мантии *астеносферы* — относительно тонкого пластичного слоя, в котором зарождается магма. Выше астеносферы располагается *литосфера*, включающая в себя самую верхнюю часть мантии и земную кору.

Внешние оболочки Земли состоят из *земной коры*, *гидросферы* и *атмосферы*. Толщина земной коры 10 — 80 км. По химическому составу в земной коре преобладает кислород, дальше следуют кремний, алюминий, железо. Земная кора делится на континентальную и океаническую, расположенную ниже уровня моря. Толщина океанической коры 7 — 10 км. Гидросфера покрывает основную долю земной поверхности. Она состоит из вод мирового океана (97 % всей воды Земли); из воды, испаряющейся с поверхности океанов и выпадающей в виде осадков на сушу, стекающей в ручьи и реки и опять впадающей в океан; из подземных вод, озер и рек; и из криосферы, включающей в себя всю замерзшую воду Земли в форме снега и льда.

В атмосфере Земли, масса которой 5 300 000 млрд тонн, преобладают азот и кислород. Атмосферу разделяют на *тропосферу* (по высоте до 9—17 км) — «фабрику погоды», *стратосферу* (по высоте до 55 км) — «кладовую погоды», *ионосферу*, которая состоит из заряженных под воздействием излучений Солнца частиц, и *зону рассеивания*, располагающуюся на высоте 800—1000 км. Пояса радиации из частиц высоких энергий выше атмосферы предохраняют Землю от жестких космических лучей, губительных для всего живого.

Выделяют также *магнитосферу*, в которой действует магнитное поле Земли, ограничиваемое влиянием частиц солнечного ветра — газообразного вещества, состоящего из свободно движущихся ионов и электронов, вырабатываемого в солнечной атмосфере и выбрасываемого в солнечную систему. «Магнитное поле вокруг Земли сформировано вращением внутреннего ядра как твердого шара, различными течениями в жидком внешнем ядре и медленными течениями в мантии»¹.

Наука, изучающая строение и эволюцию Земли, называется геологией (от греч. «*gē*» — земля и «*logos*» — наука). Эта наука возникла в XVIII в., хотя данные о поверхности Земли и ее изменениях известны еще Древнему миру.

В XIX в. в геологии сформировались две концепции развития Земли: 1) посредством скачков («теория катастроф» Ж.Кювье); 2) посредством небольших постоянных изменений в одном и том же направлении на протяжении миллионов лет, которые, суммируясь, приводили к огромным результатам («принцип униформизма» Ч.Лайелля).

Успехи физики XX в. способствовали существенному продвижению в познании истории Земли. В 1908 г. ирландский ученый Д.Джолли сделал сенсационный доклад о геологическом значении радиоактивности: количество тепла, испущенного радиоактивными элементами, вполне достаточно, чтобы объяснить существование расплавленной магмы и извержение вулканов, а также смещение континентов и горообразование. С его точки зрения, элемент материи — атом — имеет строго определенную длительность существования и неизбежно распадается. На свойстве радиоактивных элементов распадаться основано определение абсолютного возраста Земли и горных пород. В следующем 1909 г. русский ученый В. И. Вернадский основывает *геохимию* — науку об истории атомов Земли и ее физико-химической эволюции.

В соответствии с современными взглядами температура ядра Земли может быть низкой, а процессы в земной коре имеют радиоактивную природу. Сначала Земля была холодной. Атомы радиоактивных элементов, распадаясь, выделяли тепло и недра разогревались. Это повлекло за собой выделение газов и водяных

¹ Уильямс Л. Науки о Земле без тайн. — М., 2009. — С. 32.

паров, которые, выходя на поверхность, положили начало воздушной оболочке и океанам.

Все геологические процессы разделяют на эндогенные, связанные с внутренней динамикой Земли, и экзогенные, связанные с внешней динамикой Земли. К *эндогенным процессам* относят тектонические движения, землетрясения, вулканическую деятельность. Они вызываются эндогенными геодинамическими факторами, такими как распад радиоактивных химических элементов, движение литосферных плит, высокая температура, давление, вызываемое силой гравитации, и т.д. Следствием эндогенной динамической активности являются разломы земной коры, вулканы — возвышенности из горячей магмы, покинувшей земную кору (лава), вулканический пепел, покрывающий Землю в результате извержения, вулканические жерла — трещины или отверстия, идущие от магматической камеры к поверхности, кратеры — чашеобразные впадины, центрируемые над жерлом вулкана, термальные источники, гейзеры и т.д.

К *экзогенным геологическим факторам* относят выветривание — разрушение горных пород под влиянием воды, ветра, льда (экзогенные геодинамические факторы). Следствием экзогенной геодинамической активности являются оползни, образование пещер, заболачивание и т.д.

По мере получения новых данных о более древних пластах земной коры и более древних временах геология XX в. еще дальше продвинула представления об эволюции земного шара. Главный вывод об эволюции Земли соответствует тем результатам, к которым пришли в XX в. другие отрасли естествознания.

Горные породы, составляющие земную кору, *делятся на осадочные* — образовавшиеся в результате накопления осадков на дне водоемов, *магматические* — образовавшиеся в результате отвердевания расплавленных пород мантии, и *метаморфические*, представляющие собой вторично расплавленные и затвердевшие осадочные и магматические породы. Примерами этих типов пород соответственно будут известняк, гранит, мрамор.

Исследования показывают, что полюса на Земле менялись, и когда-то Антарктида была зеленым континентом. Вечная мерзлота образовалась 100 тыс. лет назад после Великого оледенения.

Современная геология выделяет в эволюции Земли три начальных этапа, которые занимают $\frac{7}{8}$ всей геологической истории (одно из названий этого периода — докембрий).

Первый этап — этап формирования нашей планеты, который занял промежуток от 3,9 до 4,5 млрд лет. Его можно назвать этапом возникновения Земли. В этот период возникли первичные гидросфера, атмосфера и литосфера. Земная атмосфера появилась в процессе вулканической деятельности, а водяные пары конденсировались в океане. Возраст земной коры — 3,9 млрд

лет. Границей этого этапа может служить появление живых организмов.

Второй этап — этап формирования современного лика Земли и появления первых живых организмов вплоть до фотосинтезирующих. Он занимает время приблизительно от 3,8 до 2,0 млрд лет. Этот этап можно назвать этапом возникновения жизни на Земле. Его граница — появление фотосинтеза. Резкое изменение состава атмосферы, превращение ее в кислородную произошло примерно 2 млрд лет назад и связано с эволюцией жизни.

Третий этап характеризуется широким распространением жизни на Земле. Этот этап продолжался от 2 млрд лет до периода, названного кембрием (около 570 млн лет назад). На этом этапе возникали континенты, от него дошли ледниковые отложения. В атмосфере появляется свободный кислород. Это этап возникновения современной биосферы.

Три последующих этапа «явной жизни» (так называемый фанерозой — от греч. «*phaneros*» — явный, «*zoe*» — жизнь) делятся соответственно на *палеозой* («древняя жизнь»), продолжавшийся 340 млн лет, *мезозой* («средняя жизнь»), продолжавшийся примерно 160 млн лет, и *кайнозой* («новая жизнь») продолжительностью примерно 70 млн лет. Здесь речь идет скорее о биологической эволюции, о которой подробнее будем говорить ниже.

В палеозое, особенно в каменноугольном периоде, накапливались огромные запасы углей, которые обеспечили энергией промышленную революцию XVIII в. и служат до сих пор энергетической базой человечества.

В мезозое возникли огромные травоядные ящеры и питающиеся ими хищные динозавры. Их массовая и безвозвратная гибель примерно 65 млн лет назад, а также гибель обильной растительности, существовавшей в то время, — древовидных папоротников, плаунов и хвощей, — знаменовала переход к кайнозою, в котором расцвели млекопитающие и другие дошедшие до наших дней виды жизни.

Наконец, последний период развития Земли в несколько миллионов лет связан с появлением человека и называется *антропогеном* (от греч. «*antrōpos*» — человек и «*genés*» — рожденный).

Тектоника литосферных плит

В 1915 г. немецкий геофизик А. Вегенер, исходя из очертаний континентов, предположил что в геологическом периоде карбоне примерно 200 млн лет назад существовал единый массив суши, названный

им Пангеей (от греч. «*pan*» — все и «*gaia*» — богиня Земли). Пангея раскололась на *Лавразию* и *Гондвану*. 135 млн лет назад Африка отделилась от Южной Америки, 85 млн лет назад Северная Америка отделилась от Европы.

Эта гипотеза противоречила господствовавшим в геологии представлениям о неподвижности континентов в истории Земли. Первоначально в поддержку данной гипотезы свидетельствовало только то, что если мы мысленно соединим ныне существующие континенты, то их очертания хорошо подойдут друг к другу.

Решающим аргументом в пользу принятия данной концепции стало эмпирическое обнаружение в конце 1950-х гг. расширения дна океанов со скоростью несколько миллиметров в год, что послужило отправной точкой создания новой *теории эволюции Земли — тектоники литосферных плит*. В соответствии с данной теорией литосфера разделена на плиты, нижние части которых погружены в жидкий расплав астеносферы. Плиты имеют толщину 75—250 км. Они движутся под влиянием глубинных конвективных потоков (движение обусловлено разностью давлений в различных точках — такова же природа образования ветров и циклонов), направленных вверх и в стороны и тянущих за собой плиты. Итак, движущей силой служит конвекция в мантии, а источником энергии — радиоактивный распад. Процессы ядерного распада играют роль как бы «мотора» эволюции Земли. Всего насчитывают 15—20 основных плит. Плиты перемещаются со скоростью до 20 см в год (в некоторых районах). На плитах жестко укреплены континенты, которые движутся вместе с плитами, меняя лик планеты. Столкновение плит вызывает горообразовательные процессы. Так, например, столкновение Евразийской плиты с Индо-Австралийской привело к образованию Тибета и Гималаев 40 млн лет назад. В пределах плит имеются сквозные разломы и возникающие в связи с этим напряжения в горных породах приводят к землетрясениям. *Прогнозирование землетрясений представляет сейчас одну из главных задач геологии и геофизики*. На протяжении геологической истории Земли континенты неоднократно соединялись в единый континент, который вновь раскалывался. Суперконтинентальный цикл имеет период примерно в 500 млн лет.

Теорию литосферных плит подтверждают и биологические данные о распространении животных на нашей планете. Теория дрейфа континентов, основанная на тектонике литосферных плит, ныне общепринята в геологии. Она представляет собой научную революцию в геологии XX в., коренным образом изменившую представления об эволюции Земли. До создания тектоники литосферных плит считалось, что основные силы, вызывающие горообразовательные процессы, действуют вертикально; тектоника литосферных плит определила, что они горизонтальные. Хотя значение изменений представлений в геологии кажется не столь важным в сравнении с астрономией, на самом деле это можно назвать «коперниканским переворотом» в геологии.

Как мы увидим в дальнейшем, Земля — это «фабрика» по производству (причем безотходному) сложных соединений, минералов и живых тел.

**Геофизика, геохимия,
география**

Первые две из названных наук достигли своего расцвета в XX в. и относятся к типу переходных наук, которых в XX в. появилось особенно много (как уже упоминав-

шаяся астрофизика).

Геофизика изучает физические процессы, происходящие в недрах и на поверхности Земли. Эта наука имеет важное как теоретическое, так и практическое значение. Первое связано с изучением внутреннего строения Земли, которое можно исследовать только особыми физическими методами, но не непосредственно. Существуют специфические методы геофизики: сейсмический, радиоактивный и т.д. Практическое значение геофизики определяется поисками полезных ископаемых, которые все труднее открыть традиционными методами — геологическим молотком и т.п.

Геохимия изучает геохимические процессы, происходящие в недрах и на поверхности Земли; распределение и перемещение химических элементов по лику Земли. Все планеты Солнечной системы построены в основном из небольшого количества химических элементов (около 30). Сложные органические соединения начинали возникать еще на последних ступенях остывания солнечной туманности. Процессы радиоактивного распада, поднимая температуру Земли, сделали возможным осуществление всех химических процессов, происходящих на ней.

Геохимические процессы, т.е. процессы круговорота химических элементов на поверхности и в недрах Земли (так называемые геохимические циклы), находились под влиянием развития жизни. Изучая эти процессы, В.И. Вернадский выяснил, что ключевую роль в их протекании играют все разновидности живого вещества, в том числе простейшие бактерии. Это дало начало еще одной науке — *биогеохимии*, которая изучает влияние живого вещества на распределение химических элементов на Земле.

География, в отличие от геофизики и геохимии, является одной из самых древних наук. Ее научный статус был не очень высок, что отражалось в самом названии (от греч. «*gē*» — Земля и «*grapho*» — пишу, описываю). Географы занимались описанием прежде всего поверхности нашей планеты. В таком понимании значение данной науки должно было бы постепенно сойти на нет, поскольку поверхность Земли достаточно полно описана. Имеется в виду физическая география, поскольку экономическая география принадлежит к числу не естественных, а гуманитарных наук. В XX в. предмет географии существенно изменился, что вдохнуло в нее новую жизнь. География, сохранив свое название, перестала быть описательной наукой, превратившись в

конструктивную — науку о способах и путях преобразования лика Земли.

Существуют также науки, которые изучают отдельные виды процессов или участки земной поверхности: *геоморфология* — наука о рельефе, *гидрология* — наука о гидросфере, *гидрогеология* — наука о подземных водах, *гляциология* — наука о льде и ледниках и т. п.

Эволюция климата

Еще в Древнем мире люди знали, что погодные условия зависят от угла наклона солнечных лучей к земной поверхности.

Само слово «климат» происходит от греч. «*klima*» — наклон. Угол наклона зависит от широты местности и от времени суток и года. Изменение климата может быть замечено только в масштабе десятилетий, тогда как погода меняется в течение года.

Одной из основных причин резкого изменения климата считают небольшие изменения земной орбиты и наклона земной оси. Климатологи установили, что климат периодически (примерно раз в 100 тыс. лет) существенно менялся и не в отдельных регионах, а на всей планете. Эти периодические изменения климата модифицируют лик нашей планеты. Эволюция климата соответствует периодическим изменениям поверхности Земли, движениям континентов и гидросферы. Только периодичность разная: не 500 млн лет, как в суперконтинентальном цикле, а 100 тыс. лет.

В настоящее время на эволюцию климата большое влияние оказывает человеческая деятельность. Так, содержание углекислого газа в атмосфере из-за сжигания ископаемого топлива увеличилось за последние 100 лет на 25 %, что усиливает парниковый эффект и ведет к повышению температуры на поверхности Земли, которая выросла за двадцатое столетие на 0,5 градуса. Дальнейшее увеличение грозит непредсказуемыми последствиями для планеты.

Возможные катастрофические изменения климата, связанные с мировой термоядерной войной, могут привести к так называемой «ядерной зиме», когда дым от пожаров, возникших при ядерных взрывах, может помешать доступу к земной поверхности солнечного света, что приведет к понижению температуры на 20—40 градусов и повлечет гибель человечества и высших животных.

Гей-гипотеза

Эта гипотеза возникла во второй половине XX в. на основе учения о биосфере, экологии и концепции коэволюции. Ее авторы — английский химик Д. Лавлок и американский микробиолог Л. Маргулис. Вначале была обнаружена химическая неравновесность атмосферы Земли, которая рассматривается как признак жизни. По мнению Лавлока, если жизнь представляет собой глобальную целостность, ее присутствие может быть обнаружено через изменение химического состава атмосферы планеты.

Лавлок ввел понятие *геофизиологии*, обозначающее системный подход к наукам о Земле. Согласно Гей-гипотезе, *сохранение дли-*

тельной химической неравновесности атмосферы Земли обусловлено совокупностью жизненных процессов на Земле. С начала жизни 3,5 млрд лет назад существовал механизм биологической автоматической термостатики, в котором избыток двуокиси азота в атмосфере играл регулируемую роль, препятствуя тенденции потепления, связанной с возрастанием яркости солнечного света. Другими словами, действует механизм обратной связи (он будет подробно рассмотрен ниже).

Лавлок сконструировал модель, в соответствии с которой при изменении яркости потоков солнечного света растет разнообразие системы, ведущее к возрастанию способности регулировать температуру поверхности планеты, а также к росту биомассы.

Суть Гея-гипотезы состоит в том, что Земля является саморегулирующейся системой, созданной биотой и окружающей средой, способной сохранять химический состав атмосферы и тем самым поддерживать благоприятное для жизни постоянство климата. По Лавлоку — мы обитатели и часть квазизживой целостности, которая обладает способностью глобального гомеостаза, справляющегося с внешними влияниями в пределах своей способности к саморегуляции. Когда подобная система попадает в состояние стресса, близкого к границам саморегуляции, даже маленькое потрясение может толкнуть ее к переходу в новое стабильное состояние или даже полностью уничтожить.

В то же время «Гея» превращает даже вредные для себя элементы в необходимые и, видимо, может выжить даже после ядерной катастрофы. Эволюция биосферы, по Лавлоку, может быть процессом, который выходит за рамки полного понимания, контроля и даже участия человека.

Подходя к Гея-гипотезе с биологическими позициями, Л. Маргулис полагает, что жизнь на Земле представляет собой сеть взаимозависимых связей, позволяющих планете действовать как саморегулирующаяся и самопроизводящая система.

Вопросы для повторения

1. Что изучает геология?
2. Что такое тектоника литосферных плит?
3. Каково строение Земли?
4. Чем занимаются геофизика и геохимия?
5. Чем занимается климатология?
6. Каковы основные особенности Гея-гипотезы?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что такое радиоактивный распад и как он влияет на эволюцию Земли?

2. Чем отличается радиоактивный распад от термоядерного синтеза?
3. Что такое глобальная тектоника и как она относится к глобальным проблемам?
4. Что является причиной горообразования и вулканической деятельности?
5. Каково эмпирическое подтверждение расхождения континентов?
6. Как происходит развитие Земли с точки зрения тектоники литосферных плит?
7. Каково строение атмосферы Земли?
8. Чем отличается климат от погоды?
9. Почему сменяются день и ночь, времена года?
10. Почему на экваторе всегда жарко, а на полюсах холодно?

II. Прокомментируйте схему.

Эволюция Земли

Становление планеты (4,5—3,8 млрд лет назад) → возникновение жизни на Земле (3,8—2 млрд лет назад) → возникновение современной биосферы (2—0,6 млрд лет назад) → палеозой: выход живого вещества на сушу (600—340 млн лет назад) → мезозой (340—70 млн лет назад) → кайнозой (70—3 млн лет назад) → антропоген: появление человека (от 3 млн лет тому назад)

Литература

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы. — Различные издания.

Мир вокруг нас. — М., 1983.

Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. — М., 1976.

Уильямс Л. Науки о Земле без тайн. — М., 2009.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ФИЗИКА

**Физика
и редукционизм**

В трех последующих главах мы дадим как бы моментальную фотографию современного строения мира. Поможет нам одна из наиболее древних и фундаментальных наук — физика (от греч. «*physis*» — природа). Стало быть, *физика — наука о природе*. Физика — главная из естественных наук, поскольку она открывает истины о соотношении нескольких основных переменных, справедливые для всей Вселенной. Ее универсальность обратно пропорциональна количеству переменных, которые она вводит в свои формулы.

Как атомы и элементарные частицы — «кирпичики» мироздания, так законы физики — «кирпичики» познания. «Кирпичиками» познания законы физики выступают не только потому, что в них используются некоторые основные и универсальные переменные и постоянные, действующие во всей Вселенной, но также и потому, что в науке действует *принцип редукционизма*, согласно которому все законы развития сложных уровней реальности должны быть сводимы к законам более простых уровней.

Скажем, законы воспроизводства жизни в генетике раскрываются на молекулярном уровне как законы взаимодействия молекул ДНК и РНК. Согласованием законов различных областей материального мира занимаются специальные пограничные науки, такие как молекулярная биология, биофизика, биохимия, геофизика, геохимия и т.д. Очень часто новые науки образуются как раз на стыках традиционных дисциплин.

Относительно сферы применимости принципа редукционизма в методологии науки ведутся ожесточенные споры, но само объяснение как таковое всегда предполагает сведение объясняемого на более глубокий понятийный уровень. В этом смысле наука подтверждает свою рациональность.

Физики утверждают, что ни одно тело во Вселенной не может не подчиняться закону всемирного тяготения, а если его поведение противоречит данному закону, значит, вмешиваются другие закономерности. Самолет не падает на землю, космический корабль преодолевает земное тяготение за счет применения реактивного двигателя, точного расчета при конструировании, использования специальных видов топлива. Полет самолета, космиче-

ского корабля не отрицает закона всемирного тяготения, а использует факторы, которые нейтрализуют его действие.

Можно отрицать философию, религию, мистику, и это признается нормальным. Но с подозрением посмотрят на человека, который выразит сомнение в справедливости закона всемирного тяготения. В этом смысле можно сказать, что законы физики лежат в основании научного постижения действительности.

Физика и наглядность

Два обстоятельства мешают понять современную физику: 1) применение сложнейшего математического аппарата, который надо предварительно изучить (А. Эйнштейн сделал попытку преодолеть эту трудность, написав учебник, в котором нет ни одной формулы); 2) невозможность создать наглядную модель современных физических представлений (искривленное пространство; частицу, одновременно являющуюся волной, и т.д.).

Прогресс физики (и науки в целом) связан с постепенным отказом от непосредственной наглядности. Как-будто такой вывод должен противоречить тому, что современная наука, и физика прежде всего, основывается на эксперименте, т.е. эмпирическом опыте, который проходит при контролируемых человеком условиях и может быть воспроизведен в любое время любое число раз. Но дело в том, что некоторые стороны реальности незаметны для поверхностного наблюдения и наглядность может ввести в заблуждение. Механика Аристотеля покоилась на принципе: «Движущееся тело останавливается, если сила прекращает свое действие на него». Он казался соответствующим реальности просто потому, что не замечалось, что причиной остановки тела является трение. Для того, чтобы сделать правильный вывод, потребовался эксперимент, который был не реальным, невозможным в данном случае, а идеальным.

Такой эксперимент провел великий итальянский ученый Г. Галилей, автор «Диалога о двух главнейших системах мира, птолемеевой и коперниковой» (1632). Для того, чтобы данный мысленный эксперимент стал возможным, потребовалось представление об идеально гладком теле и идеально гладкой поверхности, исключающей трение. Эксперимент Галилея, позволивший сделать вывод, что, если ничто не будет влиять на движение тела, оно сможет продолжаться бесконечно долго, стал основой классической механики И. Ньютона (вспомним три закона движения из школьной программы физики). В 1686 г. Ньютон предоставил Лондонскому королевскому обществу свои «Математические начала натуральной философии», в которых сформулировал понятия массы, инерции, ускорения, основные законы движения и закон всемирного тяготения. Так, благодаря мысленным экспериментам стала возможной новая механистическая картина мира.

Возможно, на знаменитые мысленные эксперименты Галилея подвигло создание гелиоцентрической системы мира выдающимся польским ученым Н. Коперником (1473—1543), ставшее еще одним примером отказа от непосредственной наглядности. Главный труд Коперника «Об обращении небесных миров» подвел итог его наблюдениям и размышлениям над этими вопросами в течение более 30 лет. Датский астроном Т. Браге (1546—1601) ради спасения наглядности выдвинул в 1588 г. гипотезу, согласно которой вокруг Солнца вращаются все планеты, за исключением Земли, последняя неподвижна и вокруг нее обращаются Солнце с планетами и Луна. И только И. Кеплер (1571—1630), установив (первые два в 1609, третий — в 1618 г.) три закона планетарных движений, названных его именем, окончательно подтвердил справедливость учения Коперника.

Итак, прогресс науки Нового времени определили идеализированные представления, порывающие с непосредственной реальностью. Однако физика XX в. заставляет отказаться не только от непосредственной наглядности, но и от наглядности как таковой. Это препятствует представлению физической реальности, но позволяет лучше осознать справедливость слов Эйнштейна: «Физические понятия суть свободные творения человеческого разума и не однозначно определены внешним миром. В нашем стремлении понять реальность мы отчасти подобны человеку, который хочет понять механизм закрытых часов. Он видит циферблат и движущиеся стрелки, даже слышит тиканье, но не имеет средств открыть их корпус. Если он остроумен, он может нарисовать себе некую картину механизма, которая отвечала бы всему, что он наблюдает, но он никогда не может быть вполне уверен в том, что его картина единственная, которая могла бы объяснить его наблюдения»¹.

Отказ от наглядности научных представлений является неизбежной платой за переход к исследованию уровней реальности, не соответствующих эволюционно выработанным механизмам человеческого восприятия.

Специальная теория относительности

Еще в классической механике был известен принцип относительности Г. Галилея: «Если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой»². Такие системы называются инерциальными, поскольку движение в них подчиняется закону инерции, гласящему: «Всякое тело сохраняет состояние покоя или

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. — М., 1965. — С. 30.

² Там же. — С. 130.

равномерного прямолинейного движения, если только оно не вынуждено изменить его под влиянием движущих сил»¹.

В начале XX в. выяснилось, что принцип относительности справедлив не только в механике, но также в оптике и электродинамике. Расширив свое значение, он теперь звучал так: любой процесс протекает одинаково в изолированной материальной системе, и в такой же системе, находящейся в состоянии равномерно прямолинейного движения. Или: законы физики имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета.

После того как физики отказались от представления о существовании эфира как всеобщей среды, рухнуло представление об эталонной системе отсчета. Все системы отсчета были признаны равнозначными, и принцип относительности стал универсальным. Теория относительности утверждает, что все системы отсчета одинаковы и нет какой-либо одной, имеющей преимущества перед другими (относительно которой эфир был бы неподвижен).

Переход от одной инерциальной системы к другой осуществлялся в соответствии с преобразованиями Х. Лоренца. Однако экспериментальные данные о постоянстве скорости света, полученные путем сравнения лучей, идущих от подвижных и неподвижных звезд, привели к парадоксу, для разрешения которого понадобилось введение принципиально новых представлений.

Поясним сказанное на следующем примере. Предположим, что мы плывем на корабле, движущемся прямолинейно и равномерно относительно берега. Все законы движения остаются здесь такими же, как на берегу. Общая скорость движения будет определяться суммой движения на корабле и движения самого корабля. При скоростях, далеких от скорости света, это не приводит к отклонению от законов классической механики. Но если наш корабль достигнет скорости, близкой к скорости света, то сумма скорости движения корабля и на корабле может превысить скорость света, чего на самом деле не может быть, так как в соответствии с экспериментом Майкельсона — Морли «скорость света всегда одинакова во всех системах координат, независимо от того, движется ли излучающий источник или нет, и независимо от того, как он движется»¹.

Пытаясь преодолеть возникшие трудности, в 1904 г. Х. Лоренц предложил считать, что движущиеся тела сокращаются в направлении своего движения (причем коэффициент сокращения зависит от скорости тела) и что в различных системах отсчета измеряются кажущиеся промежутки времени. Но в следующем году А. Эйнштейн истолковал кажущееся время в преобразованиях Лоренца как истинное.

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Указ. соч. — С. 140.

Как и Галилей, Эйнштейн использовал мысленный эксперимент, который получил название «поезд Эйнштейна». «Представим себе наблюдателя, едущего в поезде и измеряющего скорость света, испускаемого фонарями на обочине дороги, т.е. движущегося со скоростью C в системе отсчета, относительно которой поезд движется со скоростью V . По классической теореме сложения скоростей наблюдатель, едущий в поезде, должен был бы приписать свету, распространяющемуся в направлении движения поезда, скорость $C + V$ »¹. Однако скорость света выступает как универсальная постоянная природы.

Рассматривая это противоречие, Эйнштейн предложил отказаться от представления об абсолютности и неизменности свойств пространства и времени. Данный вывод противоречит обыденному опыту, поскольку этих изменений мы непосредственно не наблюдаем и не можем представить никакого пространства, кроме трехмерного, и никакого времени, кроме одномерного. Но наука совсем не обязательно должна следовать здравому смыслу и неизменным формам чувственности. Главный критерий для нее — соответствие теории и эксперимента. Теория Эйнштейна удовлетворяла этому критерию и была принята. В свое время и представления о том, что Земля круглая и движется вокруг Солнца, тоже казались противоречащими здравому смыслу и наблюдению, но именно они оказались справедливыми.

**Современные
представления
о пространстве
и времени**

Пространство и время традиционно рассматривались в философии и науке как основные формы существования материи, ответственные за расположение отдельных элементов материи друг относительно друга и за закономерную координацию сменяющихся друг друга явлений. *Характеристиками пространства считались однородность* — одинаковость свойств во всех точках и *изотропность* — независимость свойств от направления. Время также считалось однородным, т.е. любой процесс в принципе повторим через некоторый промежуток времени. С этими свойствами связана симметрия мира, которая имеет большое значение для его познания. Пространство рассматривалось как трехмерное (длина, ширина, высота), а время — как одномерное и идущее в одном направлении: от прошлого к будущему. Время необратимо, но во всех физических законах от перемены знака времени на противоположный ничего не меняется и, стало быть, физически будущее неотлично от прошедшего.

В истории науки известны две концепции пространства: пространство как неизменное вместилище материи (И. Ньютона) и пространство, свойства которого связаны со свойствами тел, на-

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — С. 87.

Различия равновесной и неравновесной областей

Свойства пространства	
Классическая физика	Релятивистская физика
1. Однородность	Однородность
2. Изотропность	Изотропность
3. Абсолютность: а) вечность; б) бесконечность; в) независимость от материи	Относительность: ? ? зависимость от материи
4. Трехмерность	Четырехмерный континуум
5. Непрерывность	?
6. Протяженность	Протяженность
Свойства времени	
1. Однородность	Однородность
2. Изотропность	Изотропность
3. Абсолютность: а) вечность; б) бесконечность; в) независимость от материи	Относительность: ? ? зависимость от материи
4. Длительность	Длительность
5. Однонаправленность	?
6. Обратимость	Обратимость (отрицается в синергетике)
5. Одномерность	Четырехмерный континуум
5. Непрерывность	?

Примечание: знак «?» означает, что наука не имеет пока ответов на эти вопросы.

ходящихся в нем (Г.Лейбниц). В соответствии с теорией относительности любое тело определяет геометрию пространства.

Из специальной теории относительности следует, что длина тела (вообще расстояние между двумя материальными точками) и длительность (а также ритм) происходящих в нем процессов не

абсолютные, а относительные величины. При приближении к скорости света все процессы в системе замедляются, продольные (вдоль движения) размеры тела сокращаются и события, одновременные для одного наблюдателя, оказываются разновременными для другого, движущегося относительно него. «Стержень сократится до нуля, если его скорость достигнет скорости света... часы совершенно остановились бы, если бы они могли двигаться со скоростью света»¹.

Экспериментально подтверждено, что частица (например, нуклон) может проявлять себя по отношению к медленно движущейся относительно нее частице как сферическая, а по отношению к налетающей на нее с очень большой скоростью частице — как сплюснутый в направлении движения диск. Соответственно, время жизни медленно движущегося заряженного р-мезона составляет примерно 10^{-8} с, а быстро движущегося (с околосветовой скоростью) — во много раз больше. Итак, *пространство и время — общие формы координации материальных явлений, а не самостоятельно существующие независимо от материи начала бытия.*

Изменения в представлении о пространстве и времени, внесенные теорией относительности, отражены в таблице 1.

Общая теория относительности внесла дальнейшие изменения в представления о пространстве и времени, о чем речь пойдет в следующем разделе.

Общая теория относительности

Найденное Эйнштейном объединение принципа относительности Галилея с относительностью одновременности получило название принципа относительности Эйнштейна. Понятие относительности стало одним из основных в современном естествознании.

В специальной теории относительности свойства пространства и времени рассматриваются без учета гравитационных полей, которые не инерциальны. Общая теория относительности распространяет выводы специальной теории относительности на все, в том числе неинерциальные системы. Общая теория относительности связала тяготение с электромагнетизмом и механикой. Она заменила механистический закон всемирного тяготения И. Ньютона на полевой закон тяготения. «Схематически мы можем сказать: переход от ньютонова закона тяготения в общей относительности до некоторой степени аналогичен переходу от теории электрических жидкостей и закона Кулона к теории Максвелла»². И здесь физика перешла от вещественной теории к полевой.

Три века физика была механистической и имела дело только с веществом. Но «уравнения Максвелла описывают структуру элек-

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Указ. соч. — С. 158.

² Там же. — С. 196.

ромагнитного поля. Ареной этих законов является все пространство, а не одни только точки, в которых находится вещество или заряды, как это имеет место для механических законов»¹. Представление о поле как еще одном, наряду с веществом, виде материи победило механицизм, имевший дело лишь с веществом.

Уравнения Максвелла «не связывают, как это имеет место в законах Ньютона, два широко разделенных события, они не связывают события **здесь** с условиями **там**. Поле **здесь** и **теперь** зависит от поля в **непосредственном соседстве** в момент **только что протекающий**»². Это существенно новый момент естественнонаучной картины мира. Электромагнитные волны распространяются со скоростью света в пространстве и аналогичным образом действует гравитационное поле. «Сила тяготения распространяется со скоростью света, и только частицы, не имеющие массы, могут двигаться с этой максимальной скоростью»³.

Массы, создающие поле тяготения, по общей теории относительности, искривляют пространство и меняют течение времени. Чем сильнее поле, тем медленнее течет время по сравнению с течением времени вне поля. Тяготение зависит не только от распределения масс в пространстве, но и от их движения, от давления и натяжений, имеющих в телах, от электромагнитного и других физических полей. Изменения гравитационного поля распределяются в вакууме со скоростью света. В теории Эйнштейна материя влияет на свойства пространства и времени.

При переходе к космическим масштабам геометрия пространства перестает быть евклидовой и изменяется от одной области к другой в зависимости от плотности масс в этих областях и их движения. В евклидовой геометрии, созданной древнегреческим математиком Евклидом (ок. 330—275 до н.э.), поверхности представляются собой плоскости, и основывается эта геометрия на пяти основных аксиомах. В неевклидовой геометрии, первую из которых создал русский ученый Н.И. Лобачевский (1792—1856), поверхности вогнутые или выпуклые. В них не действует пятая аксиома о непересечении параллельных линий и, соответственно, меняются все основные соотношения. Так, например, сумма углов треугольника становится меньше или больше 180° . Графически это изображено на рис. 4.

До создания теории относительности считалось само собой разумеющимся, что пространство Вселенной может быть представлено тремя плоскостями (измерениями): длина, ширина, высота и геометрия пространства подчиняются соотношениям Евклида.

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Указ. соч. — С. 120.

² Там же. — С. 120.

³ Грин В. Элегантная Вселенная: суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. — М., 2008. — С. 105.

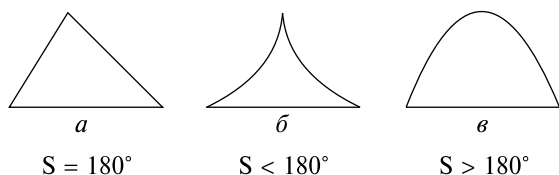


Рис. 4. Углы треугольника в евклидовой (а) и неевклидовой (б, в) геометрии, где S — сумма углов треугольника

Теория относительности, связавшая свойства пространства со свойствами находящейся в нем материи, ввела понятие *кривизны пространства*. Коэффициент кривизны зависит от силы тяготения в данной точке пространства. Суть гравитации, по Эйнштейну, в искривлении пространства и времени. Структура пространства и времени деформируется, как резинка, на которую положен шар, и более легкое тело будет двигаться вокруг этого шара, как бы в ложбинке, следуя линии наименьшего сопротивления. Искривление времени означает, что скорость его хода изменяется от одной точки к другой. Таким образом, гравитационное взаимодействие передается кривизной пространства и времени. Экспериментальным подтверждением общей теории относительности послужило обнаружение отклонения света, идущего от дальних звезд в поле тяготения Солнца (1919).

В масштабах метagalактики геометрия пространства изменяется со временем вследствие расширения метagalактики. При скоростях, приближающихся к скорости света, при сильном поле пространство приходит в сингулярное состояние, т. е. сжимается в точку. Через это сжатие мегамир приходит во взаимодействие с микромиром и во многом оказывается аналогичным ему. Классическая механика остается справедливой как предельный случай при скоростях, намного меньших скорости света, и массах, намного меньших масс в мегамире.

Теория относительности показала единство пространства и времени, выражающееся в совместном изменении их характеристик в зависимости от концентрации масс и их движения. Время и пространство перестали рассматриваться независимо друг от друга и возникло представление о *пространственно-временном четырехмерном континууме*.

Теория относительности связала также массу и энергию соотношением $E = MC^2$, где C — скорость света. В теории относительности «два закона — закон сохранения массы и сохранения энергии — потеряли свою независимую друг от друга справедливость и оказались объединенными в единый закон, который можно назвать законом сохранения энергии или массы»¹. Явление аннигиляции, при

¹ Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — С. 69.

котором частица и античастица взаимно уничтожают друг друга, и другие явления физики микромира подтверждают данный вывод.

Итак, теория относительности основывается на постулатах постоянства скорости света и одинаковости законов природы во всех физических системах, а основные результаты, к которым она приходит, таковы: относительность свойств пространства-времени; относительность массы и энергии; эквивалентность тяжелой и инертной масс (следствие отмеченного еще Галилеем свойства всех тел падать в поле тяготения с одним и тем же ускорением независимо от их состава и массы).

До XX в. были открыты законы функционирования вещества (И. Ньютон) и поля (Д. Максвелл). В XX в. неоднократно предпринимались попытки создать единую теорию, в которой соединились бы вещественные и полевые представления. Сейчас на эту роль претендует теория струн, о которой речь пойдет дальше.

В заключение приведем слова из книги В. Гейзенберга «Часть и целое» о том, что же означает понимание как таковое. «“Понимать” — это, по-видимому, означает овладеть представлениями, концепциями, с помощью которых мы можем рассматривать огромное множество различных явлений в их целостной связи, иными словами, “охватить” их. Наша мысль успокаивается, когда мы узнаем, что какая-нибудь конкретная, кажущаяся запутанной, ситуация есть лишь частное следствие чего-то более общего, поддающегося тем самым более простой формулировке. Сведение пестрого многообразия явлений к общему и простому первопринципу, или, как сказали бы греки, “многого” к “единому”, и есть как раз то самое, что мы называем “пониманием”. Способность численно предсказать событие часто является следствием понимания, обладания правильными понятиями, но она непосредственно не тождественна пониманию»¹.

Вопросы для повторения

1. Что такое физикализм и редукционизм?
2. Что такое принцип относительности?
3. Как понимаются пространство и время в современной науке?
4. Что такое физическое поле?
5. Чем общая теория относительности отличается от специальной?
6. Как соотносятся в теории относительности масса и энергия?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

¹ Гейзенберг В. Указ. соч. — М., 1989. — С. 165.

1. Какую ошибку допустил Аристотель, формулируя закон движения?
2. Как наука связана с проблемой наглядности?
3. Чем различаются философское, мифологическое, физическое и психологическое пространство и время?
4. Чем измеряется интерсубъективное время?
5. В каком смысле можно говорить об относительности физического времени?
6. Чем заменено в теории относительности пространство и время?
7. В виде какой фигуры вы представляете себе пространство — куб с плоскими гранями или как-то еще?
8. Зачем нужна единая теория поля?
9. Притягиваются ли люди друг к другу?
10. Как изменила научную картину мира современная физика?
11. В чем значение для современной картины мира понятия вероятности, времени, эволюции?
12. Как с точки зрения современной физики появляются вещи?
13. Каковы свойства времени (однородность, однонаправленность, однородность)?
14. Существуют ли пространство и время без материи? Если убрать материю, останутся ли пространство и время?
15. Каковы свойства пространства (трехмерность, однородность, изотропность)?
16. Чем интерсубъективное пространство и время отличаются от субъективного?
17. Если образы играют в науке важную роль, то какое значение для познания имеет ненаглядность современной физики?
18. Если все развивается, то справедливы ли универсальные законы физики?
19. Как вы можете представить себе искривленное пространство: в виде кривых зеркал в комнате смеха или как-то еще?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Всякое тело сохраняет состояние движения до тех пор, пока на него действует какая-либо сила» (Аристотель).

«Что такое теория относительности? — Раньше думали, что если всю материю убрать, то пространство и время останутся. Теория относительности считает, что без материи и их не будет» (А. Эйнштейн).

«Было показано, что категории пространства и времени в сновидениях становятся модифицированными таким образом, который в некоторой степени напоминает отказ от пространства и времени в мифах» (М. Элиаде).

«Тюрьма: ограничение в пространстве, компенсируемое увеличением во времени» (И. Бродский).

«Для Эйнштейна, как и для Аристотеля, время и пространство находятся во Вселенной, а не Вселенная “находится во” времени и пространстве» (А. Койре).

«Какое место занимает картина мира физиков-теоретиков среди всех возможных таких картин? Благодаря использованию языка математики эта картина удовлетворяет высоким требованиям в отношении строгости

и точности выражения взаимозависимостей. Но зато физик вынужден сильно ограничивать свой предмет, довольствуясь изображением наиболее простых, доступных нашему опыту явлений, тогда как все сложные явления не могут быть воссозданы человеческим умом с той точностью и последовательностью, которые необходимы физико-теоретику.

Высшая аккуратность, ясность и уверенность — за счет полноты. Но какую прелесть может иметь охват такого небольшого среза природы, если наиболее тонкое и сложное малодушно оставляется в стороне? Заслуживает ли результат столь скромного занятия гордого названия “картины мира”? Я думаю — да, ибо общие положения, лежащие в основе мысленных построений теоретической физики, претендуют быть действительными для всех происходящих в природе событий. Путем чисто логической дедукции из них можно было бы вывести картину, т. е. теорию всех явлений природы, включая жизнь, если этот процесс дедукции не выходил бы далеко за пределы творческой возможности человеческого мышления. Следовательно, отказ от полноты физической картины мира не является принципиальным» (А. Эйнштейн).

«Уместно спросить: каково значение ньютоновского синтеза в наши дни, после создания теории поля, теории относительности и квантовой механики? Это — сложная проблема, и мы к ней еще вернемся. Теперь нам хорошо известно, что природа отнюдь не “комфортабельна и самосогласованна”, как полагали прежде. На микроскопическом уровне законы классической механики уступили место законам квантовой механики. Аналогичным образом на уровне Вселенной на смену ньютоновской физике пришла релятивистская физика. Тем не менее классическая физика и поныне остается своего рода естественной точкой отсчета. Кроме того, в том смысле, в каком мы определили ее, т. е. как описание детерминированных, обратимых, статичных траекторий, ньютоновская динамика и поныне образует центральное ядро всей физики» (А. Эйнштейн).

«Мы так привыкли к законам классической динамики, которые преподносятся нам едва ли не с младших классов средней школы, что зачастую плохо сознаем всю смелость лежащих в их основе допущений. Мир, в котором все траектории обратимы, — поистине странный мир. Не менее поразительно и другое допущение, а именно допущение полной независимости начальных условий от законов движения» (А. Эйнштейн).

III. Прокомментируйте схемы.

1. Структура современной физики

<i>Виды процессов</i>		<i>Уровень</i>
Движение (гравитация)	Тепловые процессы	макро
Классическая механика	Термодинамика, синергетика	макро
Квантовая механика	Физика элементарных частиц	микро
Релятивистская физика	Астрофизика	мега

2. Современные представления о пространстве и времени



Литература

Грин Б. Элегантная Вселенная: Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. — М., 2008.

Оппенгеймер Р. Летящая трапеция. — М., 1967.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986.

Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. — М., 1965.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

**Механика
микромира**

В обычном, окружающем нас, макромире энергия может возрастать или убывать непрерывно. Например, когда какой-либо объект падает, его потенциальная энергия непрерывно уменьшается до того момента, когда падение прекратится. Но когда физики начали изучение микромира — мира атомов и элементарных частиц — они обнаружили необыкновенные свойства и, в частности, то, что энергия в микромире возрастает и убывает определенными неделимыми порциями. Отсюда стало ясно, что для объяснения процессов в микромире необходима новая теория взамен классической, созданной Ньютоном. Эта теория и получила название квантовой механики.

Квантовая механика — это физическая теория, устанавливающая способ описания и законы движения на микроуровне. Немецкий ученый М. Планк в 1900 г. предположил, что свет испускается неделимыми порциями энергии — квантами и математически представил это в виде формулы $E = h\nu$, где ν — частота света, а h — универсальная постоянная, характеризующая меру дискретной порции энергии, которой обмениваются вещество и излучение. В атомную теорию вошли, таким образом, прерывистые физические величины, которые могут изменяться только скачками.

Последующее изучение явлений микромира привело к результатам, которые резко расходились с общепринятыми в классической физике, и даже теории относительности, представлениями. Классическая физика видела свою цель в описании объектов, существующих в пространстве, и в формулировке законов, управляющих их изменениями во времени. Но для таких явлений, как радиоактивный распад, дифракция, испускание спектральных линий можно утверждать лишь, что имеется некоторая вероятность того, что индивидуальный объект таков и что он имеет такое-то свойство. В квантовой механике нет места для законов, управляющих изменениями отдельного объекта во времени.

Для классической механики характерно описание частиц путем задания их положения и скоростей и зависимости этих величин от времени. В квантовой механике одинаковые частицы в одинаковых условиях могут вести себя по-разному. Проведя какие-либо эксперименты с электроном, мы не будем всегда получать

одинаковые результаты. Эксперимент с двумя отверстиями, через которые проходит электрон, позволяет и требует применения вероятностных представлений. Нельзя сказать, через какое отверстие пройдет данный электрон, но если их много, то можно предположить, что часть их проходит через одно отверстие, часть — через другое. Законы квантовой механики — законы статистического характера. «Мы можем предсказать, сколько приблизительно атомов (радиоактивного вещества. — А. Г.) распадутся в следующие полчаса, но мы не можем сказать... почему именно эти отдельные атомы обречены на гибель»¹. В микромире господствует статистика, т. е. можно определить лишь средние значения большого числа объектов, как это имеет место в статистике.

Статистические законы можно применить только к большим совокупностям, но не к отдельным индивидуумам. Квантовая механика отказывается от поиска индивидуальных законов элементарных частиц и устанавливает статистические законы. На базе квантовой механики невозможно описать положение и скорость элементарной частицы или предсказать ее будущий путь. Волны вероятности говорят о вероятности встретить электрон в том или ином месте.

В. Гейзенберг делает такой вывод: «В экспериментах с атомными процессами мы имеем дело с вещами и фактами, которые столь же реальны, сколь реальны любые явления повседневной жизни. Но атомы или элементарные частицы реальны не в такой степени. Они образуют скорее мир тенденций или возможностей, чем мир вещей и фактов»².

В первой модели атома, построенной на основе экспериментального обнаружения квантования света, Н. Бор (1913) объяснил это явление тем, что излучение происходит при переходе электрона с одной орбиты на другую, при этом рождается квант света с энергией, равной разности энергий уровней, между которыми осуществляется переход. Так возникает *линейчатый спектр* — *основная особенность атомных спектров* (в спектрах оказываются волны лишь определенных длин).

Важная особенность явлений микромира заключается в том, что электрон ведет себя подобно частице, когда движется во внешнем электрическом или магнитном поле, и подобно волне, когда дифрагирует, проходя сквозь кристалл. Поведение потока частиц — электронов, атомов, молекул — при встрече с препятствиями или отверстиями атомных размеров подчиняется волновым законам: наблюдаются явления дифракции, интерференции, отражения, преломления и т. п. Л. де Бройль предположил, что электрон — это волна определенной длины.

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Указ. соч. — С. 232.

² Гейзенберг В. Указ. соч. — С. 117.

Дифракция подтверждает волновую гипотезу, отсутствие увеличения энергии выбиваемых светом частиц — квантовую. Это получило название *корпускулярно-волнового дуализма*. Как же описывать процессы в микромире, если «нет никаких шансов последовательно описать световые явления, выбрав только какую-либо одну из двух возможных теорий — волновую или квантовую»¹?

Некоторые эффекты объясняются волновой теорией, некоторые другие — квантовой, поэтому следует использовать разные формулы и из волновой, и из квантовой теории для более полного описания процессов — таков смысл *принципа дополнительности* Н. Бора. «Усилия Бора были направлены на то, чтобы сохранить за обоими наглядными представлениями, корпускулярным и волновым, одинаковое право на существование, причем он пытался показать, что хотя эти представления возможно исключают друг друга, однако они лишь вместе делают возможным полное описание процессов в атоме»².

С принципом дополнительности связано и так называемое *соотношение неопределенностей*, сформулированное в 1927 г. В. Гейзенбергом, в соответствии с которым в квантовой механике не существует состояний, в которых и местоположение, и количество движения (произведение массы на скорость) имели бы вполне определенное значение. Частица со строго определенным импульсом совершенно не локализована. Чем более определенным становится импульс, тем менее определенно ее положение.

Соотношение неопределенностей гласит, что для абсолютно точной локализации микрочастицы необходимы бесконечно большие импульсы, что физически не может быть осуществлено. Более того, современная физика элементарных частиц показывает, что при очень сильных воздействиях на частицу она вообще не сохраняется, а происходит даже множественное рождение частиц.

В более общем плане можно сказать, что только часть относящихся к квантовой системе физических величин может иметь одновременно точные значения, остальные величины оказываются неопределенными. Поэтому ни в одной квантовой системе не могут одновременно равняться нулю все физические величины.

Энергию системы также можно измерить с точностью, не превышающей определенной величины. Причина этого — во взаимодействии системы с измерительным прибором, который препятствует точному измерению энергии. Из соотношения неопределенностей вытекает, что энергии возбужденных состояний атомов, молекул, ядер не могут быть строго определенными. На этом

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Указ. соч. — С. 215.

² Гейзенберг В. Указ. соч. — С. 203.

выводе и основана гипотеза происхождения Вселенной из «возбужденного вакуума». В соответствии с нею вакуум рассматривается как виртуальный (т.е. возможный; это понятие возникло в квантовой механике и в настоящее время стало очень модным) мир, в котором возможно спонтанное возникновение энергетического потенциала, преобразующегося затем в вещество. Следует обратить внимание на слово «спонтанное». Оно соответствует еще одному принципу, введенному в квантовой механике, — *принципу индетерминизма*. В классической науке господствовал *принцип детерминизма* (от лат. «*dētermināre*» — определять), в соответствии с которым каждое событие является следствием какой-либо причины. Невозможны события, не имеющие причины. Схематически это изображается так:

$$П \rightarrow С,$$

где П — причина, а С — следствие. Статистический характер квантовой механики заставляет признать, что одна причина может иметь разные следствия

$$\begin{array}{c} C_1 \\ \uparrow \\ П \rightarrow C_2 \end{array}$$

и к одному следствию могут вести разные причины

$$\begin{array}{c} П_1 \searrow \\ \quad \quad \quad С \\ П_2 \nearrow \end{array}$$

(это получило название *неоднозначного детерминизма*). Дальнейшее продвижение по этому пути приводит к принципу индетерминизма, т.е. к отрицанию того, что все события должны обязательно иметь причину.

Значение эксперимента возросло в квантовой механике до такой степени, что, как писал Гейзенберг, «наблюдение играет решающую роль в атомном событии, и что реальность различается в зависимости от того, наблюдаем мы ее или нет»¹. Из данного обстоятельства, заключающегося в том, что сам измерительный прибор влияет на результаты измерения и участвует в формировании изучаемого явления, следовало, во-первых, представление об особой «физической реальности», которой присущ данный феномен, а во-вторых, представление о *субъект-объектном единстве* как единстве измерительного прибора и изучаемой реальности. «Квантовая теория уже не допускает вполне объективного

¹ Гейзенберг В. Указ. соч. — С. 24.

описания природы»¹. Человек перешел на тот уровень исследования, где его влияние неустранимо в ходе эксперимента, и фиксируемым результатом является взаимодействие изучаемого объекта и измерительного прибора.

Итак, принципиально новыми моментами в исследовании микромира стали:

- 1) каждая элементарная частица обладает как корпускулярными, так и волновыми свойствами;
- 2) вещество может переходить в излучение (аннигиляция частицы и античастицы дает фотон, т.е. квант света);
- 3) можно предсказать место и импульс элементарной частицы только с определенной вероятностью;
- 4) прибор, исследующий реальность, влияет на нее;
- 5) точное измерение возможно только при изучении потока частиц, но не одной частицы.

По существу, относительность восторжествовала и в квантовой механике, так как ученые признали, что нельзя, во-первых, найти истину безотносительно от измерительного прибора; во-вторых, знать одновременно и положение, и скорость частиц; в-третьих, установить, имеем ли мы в микромире дело с частицами или с волнами. Это и есть торжество относительности в физике XX века.

В химии элементом называли субстанцию, которая не могла быть разложена или расщеплена какими угодно средствами, имевшимися в то время в распоряжении ученых: кипячением, сжиганием, растворением, смешиванием с другими веществами. Затем в физике появилось понятие атома, заимствованное у Демокрита (от греч. «*atomos*» — неделимый), которым была названа мельчайшая единица материи, входящая в состав химического элемента. Химический элемент состоит из одинаковых атомов.

Потом выяснилось, что сам атом состоит из элементарных частиц. В первой модели атома, предложенной Э. Резерфордом, электроны движутся вокруг ядра, как планеты вокруг Солнца (планетарная модель атома). Установлено, что поперечник атома составляет 10^{-8} см, а ядра — 10^{-12} см. Масса протона больше массы электрона примерно в 2 000 раз. Плотность ядра — 10^{14} г/см³. Превращение химических веществ друг в друга, о чем мечтали алхимики, возможно, но для этого нужно изменить атомное ядро, а это требует энергий, в миллионы раз превосходящих энергию химических процессов.

В XX в. открыто огромное количество элементарных частиц и выявлены закономерности их взаимодействия. Элементарные частицы можно разделить на несколько групп: *адроны* (из них состоят

¹ Гейзенберг В. Указ. соч. С. 61.

ядра), *лептоны* (электроны, нейтрино), *фотоны* (кванты света без массы покоя). Фотоны и нейтрино движутся со скоростью света.

Английский ученый П. Дирак предсказал существование античастиц с той же массой, что и частицы, но с зарядом противоположного знака. На ускорителях высоких энергий получены *позитроны* (античастицы электронов) в 1932 г. и *антипротоны* в 1955 г. При столкновении частица и античастица аннигилируют с выделением фотонов — безмассовых частиц света (вещество переходит в излучение). В результате взаимодействия фотонов могут рождаться пары «частица — античастица».

Изучают свойства атомов и элементарных частиц на гигантских ускорителях (первый построен в 1929 г. в Англии), в которых частицы двигаются по спирали. Современный ускоритель представляет собой установку в полкилометра в окружности и строятся ускорители еще более мощные.

Открытие все большего количества элементарных частиц подтвердило взаимопревращение вещества и энергии (предсказанное, впрочем, еще Анаксимандром), так что материя, которая прежде отождествлялась с веществом, все больше начала походить на материю как «потенцию» (по Аристотелю), которая нуждается в форме, чтобы стать вещественной реальностью.

Понятия «химический элемент» и «элементарная частица» свидетельствуют о том, что и то, и другое когда-то предполагалось простым и бесструктурным. Затем ученые перестали употреблять для каждого нового уровня одно и то же слово «элемент» (неделимый), и для частиц, из которых состоят протоны и нейтроны, взяли ничего конкретно не значащее слово из художественного произведения — «кварк». Все кажется элементарным, пока не обнаружишь его составные части.

Теоретически предсказанные кварки, главной особенностью которых является дробный заряд, были затем экспериментально найдены. В 1994 г. обнаружен последний из шести разновидностей самый тяжелый кварк. Будет ли конец возможности расщепления, определит прогресс научного знания. Пока нижним теоретически предсказанным уровнем считается уровень струн, от которых произошли и элементарные частицы, и физические поля.

Основные физические взаимодействия

Известны четыре основных физических взаимодействия (или силы), которые определяют структуру нашего мира: гравитационные, электромагнитные, сильные, слабые.

Гравитационное взаимодействие — первое, которое было открыто, и оно составляет физическую основу закона всемирного тяготения. Первоначальное название этого взаимодействия — сила тяготения, или притяжения. Но так как понятие силы относится к одностороннему воздействию, а в реальности не одно тело, име-

ящее большую массу, действует на другое, а все тела притягиваются друг к другу, то понятие взаимодействия более точно отражает суть процесса. За счет гравитационного взаимодействия существуют звездные системы. Если бы его не было, то планеты могли бы «не захотеть» вращаться вокруг звезд. Именно гравитационное взаимодействие создает тот порядок (космос, по-гречески), благодаря которому существуют не только звездные системы, но и образуются все крупные тела из диффузного вещества.

Электромагнитное взаимодействие во много раз сильнее гравитационного. Это необходимо для того, чтобы могли существовать атомы вещества. «Спустя 100 лет после того, как Ньютон открыл закон тяготения, Кулон обнаружил такую же зависимость электрической силы от расстояния. Но закон Ньютона и закон Кулона существенно различаются в следующих двух отношениях. Гравитационное притяжение существует всегда, в то время как электрические силы существуют только в том случае, если тела обладают электрическими зарядами. В законе тяготения имеется только притяжение, а электрические силы могут как притягивать, так и отталкивать»¹. При электромагнитном взаимодействии происходит испускание и поглощение «квантов света» — фотонов. Электромагнитное взаимодействие необходимо для создания и соединения атомов и молекул. Ядро атома, в котором находятся протоны и нейтроны, заряжено положительно, и оно притягивает отрицательно заряженные электроны, которые вращаются вокруг него.

Сильное взаимодействие возможно только на малых расстояниях (радиус примерно 10^{-13} см), оно короткодействующее в отличие от длиннодействующих гравитационных и электромагнитных. Сильное взаимодействие отличается от трех других основных взаимодействий также тем, что при удалении друг от друга взаимодействующих частиц оно не ослабевает, а возрастает.

Сильное взаимодействие открыто Э. Резерфордом в 1911 г. одновременно с открытием атомного ядра, которое и существует благодаря сильному взаимодействию. Сильное взаимодействие удерживает ядро. Оно передается глюонами (по англ. — клей) и действует на кварки, но не на лептоны (в этом различие между данными элементарными частицами). Из-за сильного взаимодействия кварки существуют только в связанном виде в составе протонов и нейтронов.

Сильное взаимодействие в 100—1 000 раз сильнее электромагнитного. Это необходимо для того, чтобы могли существовать ядра атомов, поскольку в противном случае электромагнитное взаимодействие будет препятствовать их образованию (напомним, что при электромагнитном взаимодействии одинаково заряженные частицы отталкиваются и если бы электромагнитное взаимодей-

¹ Эйнштейн А., Инфельд Л. Указ. соч. — С. 65.

ствие было сильнее сильного взаимодействия, то положительно заряженные протоны не могли бы соединяться между собой и образовывать ядра атомов). Посредством сильного взаимодействия создаются ядра атомов, а также частицы, из которых состоят ядра атомов — протоны и нейтроны. Ядерные силы действуют в одном направлении как притяжение и не зависят от заряда частиц. В сильных взаимодействиях величина заряда сохраняется.

Слабое взаимодействие слабее электромагнитного, но сильнее гравитационного. Оно также действует только на очень малых расстояниях в пределах атомного ядра. Радиус действия на два порядка меньше радиуса сильного взаимодействия (10^{-15} см). За счет слабого взаимодействия происходят превращения атомных ядер (в том числе радиоактивный распад), а так как именно такие процессы протекают в недрах звезд, то можно сказать, что за счет слабого взаимодействия светит Солнце (при превращении атома водорода в атом гелия протон распадается на нейтрон, позитрон и нейтрино). Испускаемое нейтрино обладает огромной проникающей способностью — оно проходит через железную плиту толщиной в миллиард километров. При слабых взаимодействиях меняется заряд частиц.

Все четыре типа взаимодействий осуществляются за счет особых частиц — переносчиков взаимодействия, называемых бозонами. Фотон переносит электромагнитные взаимодействия, гравитон — гравитационные, глюоны — сильные взаимодействия, промежуточные векторные (калибровочные) бозоны — слабые взаимодействия. Характер физических взаимодействий определяется свойствами частиц — переносчиков взаимодействия. Бозоны окружают частицы вещества (фермионы) и взаимодействие последних является результатом взаимного «обстрела» друг друга бозонами. «Если использовать грубую аналогию, это похоже на изменение траектории двух конькобежцев, обстреливающих друг друга градом шаров для боулинга»¹. Частицы вещества в результате взаимного обстрела могут не только отталкиваться, но и притягиваться друг к другу. Поэтому бозоны как бы передают послания о том, как следует реагировать фермионам. Так, при электромагнитном взаимодействии «частицам, несущим одинаковый заряд, фотон передает сообщение “отдаляйтесь”, а частица с разноименным зарядом — “сближайтесь” Аналогичным образом глюоны и слабые калибровочные бозоны являются частицами — посланниками сильного и слабого взаимодействия»².

Во второй половине XX в. основные усилия физиков-теоретиков сосредоточились на том, чтобы построить теории, объединяющие основные физические взаимодействия. В физике элементар-

¹ Грин Б. Указ. соч. — С. 89.

² Там же. — С. 89—90.

ных частиц были созданы так называемая *электрослабая теория*, объединившая электромагнитные и слабые взаимодействия, *квантовая хромодинамика* (теория сильных взаимодействий), а затем электрослабая теория и квантовая хромодинамика были соединены в *теорию великого объединения* (так называли объединение трех негравитационных взаимодействий). Последняя получила также название *стандартной модели физики элементарных частиц*.

Данные теории позволили сформировать представление об этапах Большого взрыва, каждый из которых начинается при достижении определенной температуры. Дело в том, что при температуре более 10^{15} градусов электромагнитные и слабые силы становятся идентичными по своим свойствам и объединяются в электрослабые силы, описанные электрослабой теорией. Сильные и электрослабые силы объединяются при температуре 10^{27} . Это описывает теория великого объединения. Обе теории, как и квантовая теория сильных взаимодействий, выдержали экспериментальную проверку.

Одна из главных задач современной физики — создать общую теорию всех четырех физических взаимодействий. На эту роль претендует так называемая *теория струн*. Ее называют теорией «всего сущего», или «окончательной» теорией. Данные выражения являются метафорическими и смысл их в том, что с помощью теории струн пытаются познать самый глубинный уровень физической реальности, основываясь на котором можно объяснить и все остальные.

Теория струн принципиально отличается от стандартной модели физики элементарных частиц, поскольку предполагает наличие более низкого уровня организации материи — одномерных суперструн, из которых состоят элементарные частицы. Если элементарные частицы — «кирпичики» мироздания, то струны — материал, из которого они сделаны. Теория струн утверждает, что каждая элементарная частица представляет собой крошечную колеблющуюся струну, имеющую форму петли. Петли струн при использовании самого мощного современного оборудования выглядят точками — элементарными частицами. «...длина типичной петли, образованной струной, близка к планковской длине, которая примерно в сто миллиардов миллиардов раз (10^{20}) меньше размера атомного ядра»¹. Струны, как считают разработчики данной теории, представляют собой «последнюю матрешку» в многочисленных слоях, образующих структуру микромира наподобие букв алфавита.

В соответствии с теорией струн масса элементарной частицы определяется энергией колебания внутренней струны данной частицы. «...каждая частица представляет собой отдельную струну —

¹ Грин Б. Указ. соч. — С. 99.

и все струны являются абсолютно идентичными. Различие между частицами обусловлены различными модами резонансных колебаний этих струн. То, что представлялось различными частицами, на самом деле является различными “нотами”, исполненными на фундаментальной струне. Вселенная, состоящая из бесчисленного количества колеблющихся струн, подобна космической симфонии»¹. Если так, то суть мира оказывается музыкальной, и весь мир, в том числе и человек, состоящим из мелодий.

В соответствии с теорией струн при температуре меньше 10^{32} градусов струна сжимается в точку (элементарные частицы ведут себя как точечные объекты). При температуре больше 10^{32} градусов силы великого объединения и гравитации объединяются в суперсилу и начинают проявляться струнные свойства частиц. Теория струн использует представления об 11 измерениях (10 пространственных плюс время). В соответствии с этой теорией возможно, что элементарные частицы и «черные дыры» являются двумя фазами одной струнной материи, как вода и лед — две фазы одного вещества.

Теория струн предполагает наличие неизвестных ныне элементарных частиц, относящихся к классу бозонов и фермионов, и, таким образом, в принципе допускает эмпирическую проверку, которая необходима для того, чтобы теория действительно стала соответствовать своему названию. Есть надежда, что на Большом адронном коллайдере удастся открыть предсказанные частицы и тем самым подтвердить теорию струн.

Вопросы для повторения

1. Что такое корпускулярно-волновой дуализм?
2. Что такое принцип дополнительности?
3. Каково значение вероятностных методов в квантовой механике?
4. В чем состоит специфика отношения прибор — объект в квантовой механике?
5. Чем вещество отличается от поля?
6. Сколько существует физических взаимодействий и как они называются?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Чем частица отличается от волны?
2. Чем свет отличается от звука?
3. Какая связь между просвещением в духовном смысле и физическим светом?

¹ Там же. — С. 102.

4. Какова роль вероятностных методов классической науки и квантовой механики?

5. Что такое химический элемент и чем он отличается от элементарной частицы?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Дайте мне начальные данные частиц всего мира и я предскажу вам будущее мира» (П. Лаплас).

«В 1920-е годы все еще верили в то, что есть только два вида фундаментальных взаимодействий: гравитация и электромагнетизм. Пытаясь объединить их, Эйнштейн в то время мог надеяться сформулировать универсальную физическую теорию. Однако изучение атомного ядра вскоре вскрыло необходимость в двух дополнительных взаимодействиях: сильном — чтобы ядро существовало как таковое, и слабым — чтобы дать ему возможность распадаться» (Ш. Л. Глэшоу).

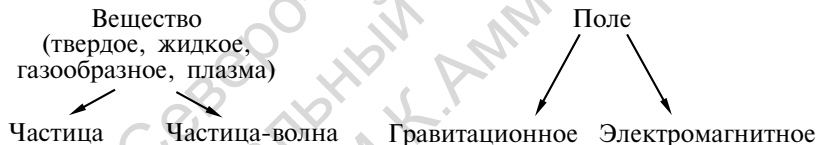
«Из определения координаты и импульса в квантовой механике следует, что не существует состояний, в которых эти две физические величины (т.е. координата q и импульс p) имели бы вполне определенное значение. Эту ситуацию, неизвестную в классической механике, выражают знаменитые соотношения неопределенности Гейзенберга. Мы можем измерять координату и импульс, но неопределенности в их значениях Δq и Δp связаны между собой неравенством Гейзенберга $\Delta q \Delta p > h$. Если неопределенность Δq в положении частицы сделать сколь угодно малой, то неопределенность Δp в ее импульсе обратится в бесконечность, и наоборот... Соотношение неопределенности Гейзенберга с необходимостью приводит к пересмотру понятия причинности. Мы можем определить координату с абсолютной точностью, но в тот момент, когда это происходит, импульс принимает совершенно произвольное значение, положительное или отрицательное. Это означает, что объект, положение которого нам удалось измерить абсолютно точно, тотчас же перемещается сколь угодно далеко. Локализация утрачивает смысл: понятия, составляющие самую основу классической механики, при переходе к квантовой механике претерпевают глубокие изменения» (А. Эйнштейн).

«Нам приходится решать, какое измерение мы собираемся произвести над системой и какой вопрос наши эксперименты зададут ей. Следовательно, существует неустранимая множественность представлений системы, каждое из которых связано с определенным набором операторов. В свою очередь это влечет за собой отход квантовой механики от классического понятия объективности, поскольку с классической точки зрения существует единственное объективное описание. Оно является полным описанием *системы* “*такой, как она есть*”, не зависящим от выбора способа наблюдения. Бор всегда подчеркивал новизну, нетрадиционность позитивного выбора, производимого при квантово-механическом измерении. Физику необходимо выбрать свой язык, свой макроскопический измерительный прибор. Эту идею Бор сформулировал в виде так называемого принципа дополнительности, который можно рассматривать как обобщение соотношений неопределенности Гейзенберга. Мы можем измерить либо координаты, либо импульсы, но не координаты и импульсы одновременно. Физическое содержание системы не исчерпы-

вается каким-либо одним теоретическим языком, посредством которого можно было бы выразить переменные, способные принимать вполне определенные значения. Различные языки и точки зрения на систему могут оказаться дополнительными. Все они связаны с одной и той же реальностью, но не сводятся к одному-единственному описанию. Неустраняемая множественность точек зрения на одну и ту же реальность означает невозможность существования божественной точки зрения, с которой открывается “вид” на всю реальность. Однако принцип дополнительности учит нас не только отказу от несбыточных надежд. Бор неоднократно говорил, что от размышлений над смыслом квантовой механики голова у него идет кругом, и с ним нельзя не согласиться: у каждого из нас голова пойдет кругом, стоит лишь оторваться от привычной рутины здравого смысла. Реальный урок, который мы можем извлечь из принципа дополнительности (урок, важный и для других областей знания), состоит в констатации богатства и разнообразия реальности, превосходящей изобразительные возможности любого отдельно взятого языка, любой отдельно взятой логической структуры. Каждый язык способен выразить лишь какую-то часть реальности. Например, ни одно направление в исполнительском искусстве и музыкальной композиции от Баха до Шенберга не исчерпывает всей музыки» (А. Эйнштейн).

III. Прокомментируйте схему.

Виды физической реальности



Литература

- Борн М. Моя жизнь и взгляды. — М., 1973.
Гейзенберг В. Шаги за горизонт. — М., 1987.
Грин Б. Элегантная Вселенная: Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. — М., 2008.
Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюции физики. — М., 1965.

Глава 9

СИНЕРГЕТИКА

Понятие сложной системы

Теория относительности, изучающая универсальные физические закономерности, относящиеся ко всей Вселенной, и квантовая механика, раскрывающая законы микромира, нелегки для понимания, и тем не менее они имеют дело с **системами**, которые с точки зрения современного естествознания считаются **простыми**. Простыми они называются потому, что в них входит небольшое число независимых переменных, т.е. величин, меняющих свое значение. В связи с этим взаимоотношения между ними поддаются математической обработке и подчиняются универсальным законам.

Однако помимо простых существуют **сложные системы**, которые состоят из большого числа независимых переменных и, стало быть, большого количества связей между ними. Чем оно больше, тем труднее исследовать объект — выводить закономерности его функционирования. Трудность изучения таких систем объясняется еще и тем обстоятельством, что чем сложнее система, тем больше у нее так называемых **эмерджентных свойств**, т.е. свойств, которых нет у ее частей и которые являются следствием эффекта целостности системы.

Сложные системы изучает, например, метеорология — наука о климатических процессах. Процессы образования погоды гораздо менее известны, чем гравитационные процессы, что, на первый взгляд, кажется парадоксом. Действительно, можно точно определить, в какой точке будет находиться Земля или какое-либо другое небесное тело через миллионы лет, а предсказать погоду на завтра удастся далеко не всегда, так как климатические процессы представляют собой гораздо более сложные системы, состоящие из огромного количества переменных и взаимодействий между ними.

Неравновесные системы

Разделение систем на простые и сложные является фундаментальным в естествознании. Системы в естествознании также делятся на устойчивые (равновесные) и неустойчивые (неравновесные).

Отличия неравновесной структуры от равновесной заключаются в следующем:

- система реагирует на внешние условия (гравитационное поле и т.п.);
- поведение систем случайно и не зависит от начальных условий, но зависит от их предыстории;
- приток энергии создает в системе порядок, и, стало быть, энтропия ее уменьшается;
- для неравновесной структуры характерно наличие бифуркации — переломной точки в развитии системы;
- неравновесной структуре свойственна когерентность — система ведет себя как единое целое и как если бы она была вместилищем дальнodelствующих сил (такая гипотеза присутствует в физике). Несмотря на то, что силы молекулярного взаимодействия являются короткодействующими, т.е. действуют на расстояниях порядка 10^{-8} см, система структурируется так, как если бы каждая молекула была «информирована» о состоянии системы в целом.

Различают области равновесности и неравновесности, в которых может пребывать система. Ее поведение при этом существенно меняется, что можно представить в таблице 2.

Будучи предоставлена самой себе, при отсутствии доступа энергии извне, система стремится к состоянию равновесия — наиболее вероятному состоянию. Пример равновесной структуры — кристалл.

Таблица 2

Различия равновесной и неравновесной областей

Неравновесная область	Равновесная область
Система «адаптируется» к внешним условиям, изменяя свою структуру	Для перехода из одной структуры в другую требуются сильные возмущения или изменение граничных условий
Множественность стационарных состояний	Одно стационарное состояние
Чувствительность к флуктуациям — небольшие влияния приводят к большим последствиям, внутренние флуктуации становятся большими	Нечувствительность к флуктуациям
Неравновесность — источник порядка (все части системы действуют согласованно) и сложности	Молекулы ведут себя независимо друг от друга
Фундаментальная неопределенность поведения системы	Поведение системы определяют линейные зависимости

К такому равновесному состоянию в соответствии со вторым началом термодинамики приходят все **закрытые системы**, т. е. системы, не получающие энергии извне. Противоположные по типу системы носят название **открытых систем**. Изучение неравновесных состояний позволяет прийти к общим выводам относительно эволюции в неживой природе от хаоса к порядку.

Эволюция и ее особенности

Понятие хаоса в противоположность понятию космоса было известно еще древним грекам. И. Пригожин и И. Стенгерс называют **хаотическими** все системы, которые нельзя описать однозначно детерминистично, т. е. зная состояние системы в данный момент, точно предсказать, что с ней будет в момент следующий.

«Экстраполяция динамического описания <...> имеет наглядный образ — демон, вымышленный П. С. Лапласом и обладающий способностью, восприняв в любой данный момент времени положение и скорость каждой частицы во Вселенной, прозревать ее эволюцию как в будущем, так и в прошлом. <...> В контексте классической динамики детерминистическое описание может быть недостижимым на *практике*, тем не менее оно остается *пределом*, к которому должна сходиться последовательность все более точных описаний»¹.

Хаотическое поведение непредсказуемо в принципе. Необратимость, вероятность и случайность становятся объективными свойствами хаотических систем на макроуровне, а не только на микроуровне, как было установлено в квантовой механике. «Модели, рассмотрением которых занималась классическая физика, соответствуют, как мы сейчас понимаем, лишь предельным ситуациям. Их можно создать искусственно, поместив систему в ящик и подождав, пока она не придет в состояние равновесия. Искусственное может быть детерминированным и обратимым. Естественное же непременно содержит элементы случайности и необратимости... Материя — более не пассивная субстанция, описываемая в рамках механистической картины мира, ей также свойственна спонтанная активность»².

По мнению И. Пригожина и И. Стенгерс, «если устойчивые системы ассоциируются с понятием детерминистичного, симметричного времени, то неустойчивые хаотические системы ассоциируются с понятием вероятностного времени, подразумевающего нарушение симметрии между прошлым и будущим»³. Для описания неустойчивых систем было введено понятие «стрела времени». «Будущее при нашем подходе перестает быть данным; оно не за-

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986. — С. 124.

² Там же. — С. 50.

³ Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994. — С. 255—256.

ложено более в настоящем. Это означает конец классического идеала всеведения. Мир процессов, в котором мы живем и который является частью нас, не может более отвергаться как видимость или иллюзия, определяемая нашим ограниченным способом наблюдения. На заре западного мира Аристотель ввел фундаментальное различие между божественным и вечным небесным миром и изменяющимся и непредсказуемым подлунным миром, к которому принадлежит и наша Земля. В определенном смысле классическая наука была низведением на Землю аристотелевского описания небес. Преобразование, свидетелями которого мы являемся сегодня, можно рассматривать как обращение аристотелевского хода; ныне мы возвращаемся с Земли на небо»¹, т.е. Вселенная предстает такой же изменяющейся, как и Земля.

Эволюция должна удовлетворять трем требованиям:

- необратимости, выражающейся в нарушении симметрии между прошлым и будущим;
- необходимости введения понятия «событие»;
- некоторые события должны обладать способностью изменять ход эволюции.

Существуют несколько условий формирования новых структур:

- открытость системы;
- ее нахождение вдали от равновесия;
- наличие флуктуаций.

Чем сложнее система, тем более многочисленны типы флуктуаций, угрожающих ее устойчивости. Но в сложных системах существуют связи между различными частями. От исхода конкуренции между устойчивостью, обеспечивающейся связью между частями, и неустойчивостью из-за флуктуаций зависит порог устойчивости системы.

Превзойдя этот порог, система попадает в критическое состояние, называемое *точкой бифуркации*. В ней система становится неустойчивой относительно флуктуаций и может перейти к новой области устойчивости, т.е. к образованию нового вещества. Система как бы колеблется перед выбором одного из нескольких путей эволюции. Небольшая флуктуация может послужить в этой точке началом эволюции в совершенно новом направлении, который резко изменит все ее поведение. Это и есть событие.

В точке бифуркации случайность подталкивает то, что остается от системы, на новый путь развития, а после того, как один из многих возможных вариантов выбран, вновь вступает в силу детерминизм — и так до следующей точки бифуркации. В судьбе

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994. — С. 20.

системы случайность и необходимость взаимно дополняют друг друга.

По мнению И. Пригожина и И. Стенгерс, большинство систем открыты: они обмениваются энергией или веществом или информацией с окружающей средой. Главенствующую роль в окружающем мире играют не порядок, стабильность и равновесие, а неустойчивость и неравновесность, т.е. все системы непрестанно флуктуируют. В особой точке бифуркации флуктуация достигает такой силы, что организация системы не выдерживает и разрушается, и невозможно предсказать: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности, который называют **диссипативной структурой**. Новые структуры называются диссипативными, так как для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых структур, на смену которым они приходят.

Диссипативные структуры существуют лишь постольку, поскольку система диссипирует (рассеивает) энергию и, следовательно, производит энтропию. Из энергии возникает порядок, при этом общая энтропия увеличивается. Таким образом, энтропия — не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации (как думали сторонники «тепловой смерти» Вселенной), при определенных условиях она становится прародительницей порядка.

«С одними и теми же граничными условиями оказываются совместимыми множество различных диссипативных структур. Это — следствие нелинейного характера сильно неравновесных ситуаций. Малые различия могут привести к крупномасштабным последствиям. Следовательно, граничные условия *необходимы, но не достаточны* для объяснения причин возникновения структур. Необходимо также учитывать реальные процессы, приводящие к “выбору” одной из возможных структур. Именно поэтому (а также в силу некоторых других причин) мы и приписываем таким системам определенную “автономию”, или “самоорганизацию»»¹.

Исследования систем, о которых только что говорилось, проводятся в рамках науки, получившей название синергетики.

**От термодинамики
закрытых систем
к синергетике**

Классическая термодинамика XIX в. изучала механическое действие теплоты, причем предметом ее исследований были закрытые системы, стремящиеся к состоянию равновесия. Термодинамика XX в. изучает открытые системы в состояниях, далеких от равновесия. Это направление получило название синергетики (от греч. *synergeia* — сотрудничество, совместное действие).

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994. — С. 67.

Синергетика сформулировала принцип самодвижения в неживой природе, создания более сложных систем из более простых. С синергетикой в физику проник эволюционный подход, постепенно наука приходит к пониманию творения как создания нового. Она ввела случайность на макроскопический уровень, подтвердив тем самым выводы механики для микроскопического уровня. Синергетика также подтвердила вывод теории относительности о взаимопревращении вещества и энергии и объяснила образование веществ. Она пытается ответить на вопрос, как образовались все те макросистемы, в которых мы живем.

С точки зрения синергетики энергия как бы застывает в виде кристаллов, превращаясь из кинетической в потенциальную. Вещество — это застывшая энергия. Энергия — понятие, характеризующее способность производить работу, как механическую, так и по созиданию новых структур.

Энтропия — это форма выражения количества связанной энергии, которую имеет вещество. Энергия — творец, энтропия — мера творчества. Последняя характеризует результат.

Синергетика отвечает на вопрос, за счет чего происходит эволюция в природе. Везде, где создаются новые структуры, необходим приток энергии и обмен со средой, так как эволюция, как и жизнь, требует метаболизма. Если в эволюции небесных тел мы видим результат производства, то в синергетике изучается процесс творчества природы. Синергетика подтверждает вывод теории относительности: энергия творит более высокие уровни организации. Перефразируя Архимеда, можно сказать: «Дай-те мне энергию, и я создам мир».

Синергетика изменила представление о мире.

Гипотеза рождения материи

Мы говорили о моделях Вселенной и пришлось к пониманию, что Вселенная появилась после того, как некто «нажал на кнопку». Физика XX в. сначала изменила отношение к тому, что считать материей и как она соотносится с пространством и временем, а в конце XX в. по-новому взглянула на процесс развития. В синергетике развитие понимается как процесс становления качественно нового, того, чего еще не существовало в природе и чего предсказать невозможно.

На пороге XXI в. наука подошла к тому, чем всегда занималась мифология, — к вопросу о происхождении мира и материи. Кибернетика, о которой речь пойдет позже, решает проблему рождения разума, синергетика — проблему рождения материи. Механизм, который ею предлагается, — это спонтанная флуктуация, событие в точке бифуркации, до определенного момента — экспоненциальный процесс.

Дуализм ньютоновской Вселенной (с одной стороны, пространство — время, с другой — материя) сменился эквивалентностью

пространства — времени и материи в уравнениях А.Эйнштейна. «Предлагаемая нами модификация уравнений Эйнштейна, учитывающая рождение материи, выражает “неэквивалентность” материи и пространства — времени. В нашем варианте уравнения Эйнштейна устанавливают взаимосвязь не только между пространством — временем и материей, но и энтропией. Вводимый нами космологический механизм приводит к необратимому “разделению фаз” между материей и гравитацией. В первоначальном вакууме они смешаны, в существующей ныне Вселенной мы наблюдаем материю, переносчик гравитации, “плавающей” в пространстве — времени. Фундаментальная двойственность нашей Вселенной представляется нам сегодня результатом первичного всплеска энтропии»¹. Причиной всплеска энтропии может быть распад чего-то высокоорганизованного, что заставляет вспомнить стоиков, Плотина и «Веды».

Важным понятием является понятие неустойчивости. Из хаоса (неустойчивости) рождается космос. При спонтанной флуктуации поля начинается самопроизвольный процесс порождения частиц вплоть до того момента, когда он прекращается. Частицы порождаются энергией по модели, сформулированной в синергетике.

Первые частицы, которые появились, были нестабильными элементарными частицами без массы покоя и с кратчайшим временем существования. Затем они превратились в стабильные, существующие и поныне. Нестабильные частицы И.Пригожин отождествляет с «черными мини-дырами», которые распадаются на обычную материю и излучение.

«Существует некоторая аналогия с переохлажденной жидкостью и порогом перехода в кристаллическое состояние. Мы можем наблюдать в переохлажденной жидкости флуктуации, приводящие к образованию крохотных кристаллов, которые то появляются, то снова растворяются. Но если образуется крупный кристалл, то происходит необратимое событие: кристаллизация всей жидкости. <...> Аналогично очень малая вероятность критической функции в вакууме Минковского указывает на то, что стрела времени уже существует в нем в латентной, потенциальной форме, но проявляется только когда неустойчивость приводит к рождению Вселенной»².

В модели И.Пригожина имеет место производство энтропии, пропорциональное скорости рождения частиц. Ее производит преобразование пространства — времени. Причем сначала возникает пространство — время, а затем оно производит частицы, поскольку процесс производства пространства — времени из материи не-

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994. — С. 238.

² Там же.

возможен. Последовательность рождения материи из вакуума можно представить таким образом:

спонтанная флуктуация → точка бифуркации →
«черные мини-дыры» → пространство — время → частицы.

Квантовый вакуум отличается от «ничто» тем, что имеет универсальные постоянные, которые могут служить аналогом всеединства. Тут вспоминаются и Абсолютная Идея Г. В. Ф. Гегеля, и «мир идей», и «пустота» буддистов. Философских аналогов очень много.

Модель рождения материи И. Пригожина принадлежит к классу неустойчивых вероятностных систем. Конец рождения материи связан со временем жизни «черных мини-дыр». Высшая цель данной «игрушечной модели» — построение «дарвиновской теории» элементарных частиц.

Какова судьба Вселенной, исходя из данной гипотезы? «Стандартная модель предсказывает, что в конце концов наша Вселенная обречена на смерть либо в результате непрерывного расширения (“тепловая смерть”), либо в результате последующего сжатия (“страшный треск”). Для Вселенной, родившейся под знаком неустойчивости из вакуума Минковского, это уже не так. Ничто не мешает нам предположить возможность повторных неустойчивостей»¹. Размеры Вселенной растут в модели Пригожина по экспоненте как следствие неустойчивости вакуума. В результате расширения Вселенной при нерождении материи Вселенная приближается к первоначальному состоянию вакуума. Потом возможна новая флуктуация.

«Эйнштейновская космология стала венцом достижений классического подхода к познаваемости. <...> В стандартной модели материя задана: она эволюционирует только в соответствии с фазами расширения Вселенной. Но, как мы видели, неустойчивость возникает, стоит нам только учесть проблему рождения материи. Таким образом, особая точка Большого взрыва заменяется рождением материи и кривизны пространства — времени. Эйнштейновское пространство — время, соответствующее искривленной Вселенной, при нашем подходе возникает как следствие необратимых процессов. Стрела времени становится принципиально важным элементом, лежащим в основе самих определений материи и пространства — времени. Однако наша модель не соответствует рождению стрелы времени из “ничего”... Космологическая стрела времени уже предполагается неустойчивостью квантового вакуума»².

Наконец, еще один вопрос: можно ли создать единую теорию физики, или, как ее еще называют, «теорию всего». «Если такая универсальная теория когда-нибудь будет сформулирована, она

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994. — С. 244 — 245.

² Там же. — С. 257 — 258.

должна будет включать в себя динамическую неустойчивость и таким образом учитывать нарушение симметрии во времени, необратимость и вероятность. И тогда надежду на построение такой “теории всего”, из которой можно было бы вывести полное описание физической реальности, придется оставить»¹. Другими словами, нет знания, которое овладело бы универсальным ключом ко всем без исключения явлениям природы.

Вопросы для повторения

1. Какие системы называются простыми, а какие сложными?
2. Какие состояния называются равновесными и неравновесными?
3. Что изучает синергетика?
4. Чем отличаются закрытые системы от открытых?
5. Каково значение энергии, света?
6. Как соотносятся энергия и энтропия, информация и энтропия?
7. Каков механизм эволюции в соответствии с представлениями синергетики?
8. Как представлено в модели И. Пригожина рождение материи?
9. Почему нельзя создать «теорию всего»?
10. Чем устойчивая система отличается от неустойчивой?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Как соотносятся законы сохранения и законы эволюции?
2. Что такое парадокс времени и космологический парадокс?
3. Что такое «стрела времени»?
4. Что такое точка бифуркации?
5. Каково значение универсальной синергетической схемы развития?
6. В чем сходство и различия эволюции неживых и живых тел?
7. Какова роль вероятностных методов в классической термодинамике, квантовой механике и синергетике? Какова роль случайности?
8. Какова роль времени в теории относительности и синергетике?
9. Что такое организация и самоорганизация?

II. Прокомментируйте высказывания.

«По свидетельству Мишеля Серра, древние атомисты уделяли турбулентному течению столь большое внимание, что турбулентность с полным основанием можно считать основным источником вдохновения физики Лукреция. Иногда, писал Лукреций, в самое неопределенное время и в самых неожиданных местах вечное и всеобщее падение атомов испытывает слабое отклонение — “клинамен”. Возникающий вихрь дает начало миру, всем вещам в природе. “Клинамен”, спонтанное непредсказуемое отклонение, нередко подвергали критике как одно из наиболее уязвимых мест в физике Лукреция, как нечто, введенное *ad hoc*. В дей-

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994. — С. 245.

ствительности же верно обратное: “клинамен” представляет собой попытку объяснить такие явления, как потеря устойчивости ламинарным течением и его спонтанный переход в турбулентное течение. Современные специалисты по гидродинамике проверяют устойчивость течения жидкости, вводя возмущение, выражающее влияние молекулярного хаоса, который накладывается на среднее течение. Не так уж далеко мы ушли от “клинамена” Лукреция!» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

III. Прокомментируйте схему.

Схема развития неживой природы



Литература

- Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., 1994.
Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986.
Хакен Г. Синергетика. — М., 1980.

СОВРЕМЕННАЯ ХИМИЯ

**Предмет
химии**

Для большинства студентов-гуманитариев представляет большую сложность разделить предметы исследования физики и химии.

Физика — наука о неживой природе. Но и химия то же. Трудность здесь связана с тем, что химия изучает один из уровней организации материи, который находится между двумя уровнями, изучаемыми физикой. Физика исследует уровень макровещества, но она же изучает и атомы. Когда в XVII в. возникла химия, то предполагалось, что она будет изучать все то, что относится к микромиру. Атомная физика, однако, начав в XX в. исследовать процессы, протекающие в микромире, оставила и более глубокие уровни организации материи за физикой. Химии пришлось удовольствоваться единственным уровнем, которым она занималась изначально, — молекулярным.

Химия изучает процессы превращения молекул и веществ и воздействия на них внешних факторов (тепла, света, физических полей и т. п.). Она изучает также связи между атомами, входящими в состав молекул (так называемые химические связи). Выяснилось, что главную роль здесь играют электроны, своего рода «клей», соединяющий ядра атомов. Создание квантовой механики привело к развитию квантовой химии, в которой электрон не считается движущимся по определенной орбите, а вводится представление об электронном облаке.

Рентгеноструктурный анализ, спектроскопические методы и метод ядерного магнитного резонанса позволили в XX в. определить строение огромного числа молекул, что имело не только важное теоретическое, но и практическое значение.

Выдающийся химик XX в. Н. Н. Семенов сводил различия физических и химических процессов к трем основным: у химических процессов есть история, у них отсутствуют мгновенные параметры для скоростей реакций, для них нельзя пользоваться равновесными параметрами. Развитие синергетики существенно уменьшило эти различия, сблизив предметы физики и химии.

Важная заслуга химии заключается в том, что она показала большое значение структуры для свойств вещества и ее относительную самостоятельность. Скажем, алмаз и графит имеют оди-

наковый вещественный состав (они состоят из углерода), но различие их структур (решетчатая у алмаза и слоистая у графита) приводит к коренному различию свойств. Алмаз — один из самых твердых веществ, а графит, напротив, очень мягок. Именно оценив важность структуры, химия стала родоначальницей структурного подхода, который затем распространился на другие науки, и не только естественные, но и гуманитарные.

Большое значение в химии XX в. имело изучение *катализаторов — веществ, которые изменяют скорость реакций, но не входят в состав их конечного продукта*. Катализаторы важны для процессов, происходящих в живых организмах. Примером катализаторов является хлорофилл — вещество в живой ткани зеленого листа, благодаря которому происходит процесс фотосинтеза.

Химия имеет ныне огромное практическое значение. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур благодаря применению минеральных удобрений и ядохимикатов дало возможность говорить о «зеленой революции», но это привело к загрязнению почв и самих производимых продуктов, так что в большей цене оказались продукты, выращенные «без химии». В промышленности новые химические вещества дали возможность существенно обогатить производственный потенциал, но и это повлекло за собой отрицательные экологические последствия, так как большинство новых химических веществ не усваивалось природной средой и, таким образом, тоже становилось ее загрязнителями. Химия нашла широкое применение в быту, в частности в косметике (появилось выражение «сделать химию»), что также имело свою обратную экологическую сторону.

Строение атома

К 1914 г. были открыты отрицательные и положительные частицы: отрицательная — электрон (в конце XIX в.), положительная — позже, и в 1920 г. английский ученый Э. Резерфорд (1871—1937) назвал ее протоном. В 1932 г. английский ученый Д. Чедвик (1891—1974) открыл частицу с такой же массой, как у протона, но не несущую электрического заряда. Ее назвали нейтроном. В. Гейзенберг сразу же после открытия нейтрона предположил, что положительно заряженные частицы большой массы представляют собой протонно-нейтронные комбинации.

Э. Резерфорд с 1906 г. бомбардировал альфа-частицами тонкие листочки металла. На основании того, что большинство альфа-частиц беспрепятственно проходили через платинки, а некоторые резко отклонялись, он создал теорию строения атома, в соответствии с которой атом имеет небольшое плотное ядро и электронные оболочки, занимающие основную часть объема атома. Немецкий ученый М. Лауэ (1879—1960) в 1909 г., бомбардируя рентгеновскими лучами кристаллы, установил, что они состоят из атомов, образующих кристаллическую решетку.

В 1920 г. Д. Чедвик экспериментально доказал равенство заряда ядра порядковому номеру химического элемента в Периодической системе элементов Менделеева и возникло новое определение химического элемента. Вместо вещества, неразложимого на более простые, химический элемент стали понимать как совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра. Именно *зарядом, который зависит от количества протонов в ядре, определяются свойства химического элемента*. Количество нейтронов в ядре не всегда одинаково, и в этом случае говорят, что химический элемент имеет несколько *изотопов*. Так, калий имеет три изотопа — калий-39, калий-40 и калий-41, где числа обозначают атомную массу, которая равна сумме протонов и нейтронов (масса электронов во много раз меньше).

В 1934 г. французскими физиками Ф. и И. Жолио-Кюри были получены первые искусственные изотопы, т. е. изотопы, которые отсутствуют в природе. В 1937 г. создан первый искусственный химический элемент, который называли технецием.

Теоретические основы химии

Теоретической основой систематизации химических элементов послужила периодическая система Д. И. Менделеева. Важной в химии является теория химического стро-

ения А. М. Бутлерова, созданная во второй половине XIX в. В своей теории он дал определение понятия химического строения как распределения принадлежащих атомам сил родства, вследствие которых образуются химические связи различной прочности. Он обратил внимание на то, что различная реакционная способность разных соединений объясняется большей или меньшей энергией, с которой связываются атомы (т. е. энергией связей), а также полным или неполным потреблением единиц родства при образовании химических связей.

Фундаментальная для химии теория химической связи была создана в первые десятилетия XX в. после того, как атомная физика выяснила внутреннее строение молекул и вышла на уровень, который находится ниже молекулярного, — атомный. В 1916 г. Г. Льюис (1875 — 1946) и И. Ленгмюр (1881 — 1957) независимо друг от друга установили, что связь между атомами в молекуле осуществляют электроны. Когда два атома сталкиваются и вступают в реакцию, они или перераспределяют свои электроны и после расходятся, или объединяют свои электроны. Электроны располагаются вокруг ядра атома оболочками и при столкновении во взаимодействие вступают внешние оболочки. Часть электронов переходит из внешней оболочки одного атома во внешнюю оболочку другого. Оба атома оказываются противоположно заряженными и начинают притягиваться друг к другу, создавая химическую связь, называемую *ионной*. Атомы могут также объединять свои электроны, представляя их в совместное пользование. Такая связь получила название *ковалентной*.

Превращение одного вещества в другое называется *химической реакцией*. Химия изучает способность веществ вступать в химические реакции и характер протекания реакций. Реакционная способность веществ зависит от их структуры, а течение реакций — от состава реагирующих веществ и влияния внешних факторов (давления, температуры и т. п.). К важнейшим факторам, влияющим на скорость реакций, относятся: природа реагирующих веществ и их концентрация, размеры частиц реагентов, присутствие в системе катализаторов, температура и давление газообразных реагентов. Влияние температуры на скорость реакции определяется правилом Я. Вант-Гоффа, в соответствии с которым при повышении температуры на 10 градусов скорость реакции увеличивается в 2—4 раза. Закон действующих масс в химической кинетике выражает зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ. Все химические реакции делятся на гетерогенные и гомогенные. Последние протекают в однородной однофазной системе.

К основным химическим понятиям относится понятие химического равновесия, под которым понимается одинаковость скоростей прямой и обратной реакций. Химическое равновесие называют динамическим, поскольку протекают и прямая, и обратная реакции, но изменения в системе отсутствуют.

Сложные системы в химии

Выдающееся достижение химии заключалось в том, что она открыла так называемые цепные реакции еще до того, как в физике был обнаружен радиоактивный распад. Суть цепной реакции Н. Н. Семенов описывает так: «Энергии кванта достаточно для того, чтобы двухатомная молекула хлора распалась на отдельные атомы. Каждый из них активнее первоначальной молекулы и потому легко вступает в реакцию с молекулой водорода. Она также двухатомна. Один из ее атомов вместе с атомом хлора дает молекулу продукта — хлористого водорода, а другой атом водорода остается свободен. Теперь он легко вступает в реакцию с ближайшей молекулой хлора, образуя вторую молекулу хлористого водорода и отдельный атом хлора... Это повторяется много-много раз, возникает как бы длинная цепь реакций»¹.

Советскому ученому Н. Н. Семенову предстояло открыть *разветвленные цепные реакции*. Его описание данного открытия раскрывает внутренний механизм научного творчества как такового. «Я уже сейчас не помню хорошо, когда у меня мелькнула догадка, что реакция окисления фосфора отличается от реакции хлора с водородом... Не помню, как мне пришла в голову главная мысль, что в ходе этой реакции образуются не обычные молекулы пятиоксида

¹ Краткий миг торжества. О том, как делают научные открытия. — М., 1989. — С. 13.

фосфора, а молекулы возбужденные — имеющие избыточную энергию, что и является причиной испускания света при соединении фосфора с кислородом. Но иногда возбужденная молекула пятиокси фосфора может столкнуться с неактивной молекулой кислорода, еще не успев испустить свет. Тогда эта избыточная энергия вызывает расщепление кислородной молекулы на активные атомы, каждый из которых, в свою очередь, начинает боденштейновскую прямую цепь реакции окисления фосфорных паров»¹.

Теория разветвленных цепных реакций дала начало новому направлению исследований — химической физике, дисциплине, промежуточной между физикой и химией.

В химии были также открыты колебательные реакции, получившие название «химических часов». «Ведь, что, в самом деле, происходит? Основа колебательной реакции — наличие двух типов молекул, способных превращаться друг в друга. Назовем один из них А (красные молекулы), другой — В (синие). Мы привыкли думать, что химическая реакция — это хаотические, происходящие наобум столкновения частиц. По этой логике взаимные превращения А и В должны приводить к усредненному цвету раствора со случайными вспышками красного и синего. Но когда условия далеки от равновесных, происходит совершенно иное: раствор в целом становится красным, потом синим, потом снова красным. Получается, будто молекулы как бы устанавливают связь между собой на больших, макроскопических расстояниях через большие, макроскопические отрезки времени. Появляется нечто похожее на сигнал, по которому все А или все В реагируют разом... Такое поведение традиционно приписывалось только живому — теперь же ясно, что оно возможно и у систем сравнительно простых, неживых»².

Органический синтез и новые материалы

Химия делится на органическую, изучающую вещества, в состав которых входит углерод, и неорганическую. Органический синтез — синтез природных соединений — имеет важнейшее практическое значение.

Основной практической задачей химии является получение веществ с заданными свойствами. На протяжении XX в. было синтезировано огромное количество веществ, которые до этого человечество находило лишь в природном состоянии, — различные лекарства, витамины, удобрения, детергенты, каучук и т. д. В настоящее время ведутся работы по выработке технологии создания новых материалов не только из неорганических соединений, но и из растительного сырья: кукурузы (из ее стеблей, которые сжига-

¹ Краткий миг торжества. О том, как делают научные открытия. — М., 1989. — С. 13—14.

² Там же. — С. 313—314.

ют) и т. п. Одно из перспективных направлений — создание биодegradуемой упаковки. Представьте, баночка из-под йогурта, брошенная не очень-то культурным человеком в воду или на газон, в считанные дни исчезнет, разложившись до углекислого газа и воды, и количество углекислого газа при этом не увеличивается, как при использовании нефти. Это получило название «зеленая химия».

Химия идет по технологическому пути, так как свойства естественных молекул уже достаточно хорошо изучены, и задача — создавать новые вещества с новыми, неизвестными природе свойствами, как, например, пластмассы. Ежегодно синтезируется более 6 000 новых химических соединений. И необходимо включать их в природные кругообороты, чтобы не осложнялись экологические проблемы.

С появлением новых промышленных процессов, средств связи (например, сотовой связи) возникает все большая потребность в новых материалах. Необычное и даже неожиданное словосочетание — интеллектуальные, или разумные, материалы. Это вещества нового поколения, которые оптимизируют свои характеристики в зависимости от внешних условий. Такие материалы откликаются на всякое физическое воздействие: крыло новой машины автоматически меняет свою форму, чтобы оптимально соответствовать аэродинамическим условиям или оптимизировать угол атаки. Некоторые детали (например, лопадки турбин) выращивают из расплава как кристалл — целиком нужной формы. Такова химия XXI века.

Биохимия и биогеохимия

Биохимия изучает химические реакции, происходящие в живых организмах, химический состав живых организмов и клеток. Эта промежуточная между биологией и химией наука получила развитие именно в XX в. Объяснение функционирования какого-либо уровня организации материи в биохимии заключается в переводе его на более низкий уровень. Мы говорили в связи с этим о принципе редукционизма, имеющем важнейшее значение в науке. Биохимия стремится объяснить функционирование живых тел на молекулярном уровне, поэтому говорят также о молекулярной биологии.

Из всех химических элементов, которых более 100, для жизни необходимы главным образом 16, причем 99 % входящих в состав живых организмов химических элементов составляют углерод, водород, кислород и азот. Биохимия изучает роль химических элементов и веществ, таких как вода, в создании и функционировании живого. Биохимию называют химией живых организмов. Она является фундаментом для физиологии и выполняет объяснительную роль для всех биологических процессов. Биохимия изучает такие важные соединения, как аминокислоты и белки, макромолекулы

которых содержат до 1 000 аминокислот. Пример белковой молекулы — гемоглобин. В животной клетке находится порядка 5000 различных видов белка.

Основоположником биогеохимии стал выдающийся русский ученый XX в. В. И. Вернадский, чье имя будет не раз встречаться на страницах этой книги. Биогеохимия изучает распространение химических элементов по поверхности Земли под влиянием живых организмов. Это пример пограничной науки, которая состоит из трех наук — биологии, химии и геологии.

Согласно двум биогеохимическим принципам В. И. Вернадского биогенная миграция атомов в биосфере стремится к максимальному проявлению, и в биосфере должны возникать виды и формы организованности, увеличивающие биогенную энергию. Другими словами, эволюция биосферы имеет направленность.

В. И. Вернадский шел от геохимии к биогеохимии, а от нее — к учению о биосфере. Иным путем — от изучения взаимодействий живых организмов с окружающей средой к понятию биосферы пришла экология.

Вопросы для повторения

1. Что такое структурный подход и каково его значение в современной науке?
2. Каковы основные выводы теории химической связи?
3. Что такое цепная реакция?
4. Каково практическое значение химии в XX в.?
5. Что вы можете сказать о предмете биохимии?
6. Каков предмет биогеохимии?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Чем отличается атом от молекулы?
2. Где и как образуются и превращаются друг в друга химические элементы?
3. В чем суть биогеохимических принципов В. И. Вернадского?
4. Как В. И. Вернадский пришел к созданию биогеохимии?

II. Прокомментируйте высказывание.

«Нельзя не отметить принципиальное концептуальное различие между физикой и химией. В классической физике мы можем представлять себе обратимые процессы, такие как движения маятника без трения. Пренебрежение необратимыми процессами в динамике всегда соответствует идеализации, но по крайней мере в некоторых случаях эта идеализация разумна. В химии все обстоит совершенно иначе. Процессы, изучением которых она занимается (химические превращения, характеризующиеся скоростями реакций), необратимы. По этой причине химию не-

возможно свести к лежащей в основе классической или квантовой механики идеализации, в которой прошлое и будущее играют эквивалентные роли» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

Литература

Азимов А. Краткая история химии. — М., 1983.

Вернадский В.И. Химическое строение Земли. — Различные издания.

О том, как делаются научные открытия // Краткий миг торжества: Сб. — М., 1989.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ**Отличие живого
от неживого**

Одним из наиболее трудных и в то же время интересных в современном естествознании является вопрос о происхождении жизни. Он труден потому, что когда наука подходит к проблемам развития как создания качественно нового, она оказывается у предела своих возможностей как отрасли культуры, основанной на доказательстве и экспериментальной проверке утверждений.

Ученые сегодня не в состоянии воспроизвести процесс возникновения жизни. Даже наиболее тщательно поставленный опыт будет лишь модельным экспериментом, лишенным ряда факторов, сопровождавших появление живого на Земле. Методологическая трудность заключается в невозможности проведения прямого эксперимента по возникновению жизни, так как уникальность этого процесса препятствует использованию основного научного метода.

Вопрос о происхождении жизни интересен не только сам по себе, но и тесной связью с проблемой отличия живого от неживого, а также с проблемой эволюции жизни. В чем сущность живого? Как механизмы эволюции действовали при зарождении жизни?

Итак, что такое живое и чем оно отличается от неживого? Есть несколько фундаментальных различий в вещественном, структурном и функциональном планах. В вещественном плане в состав живого обязательно входят высокоупорядоченные макромолекулярные органические соединения, называемые биополимерами, — белки и нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК). В структурном плане живое отличается от неживого клеточным строением. В функциональном плане для живых тел характерно воспроизводство самих себя. Устойчивость и воспроизведение есть и в неживых системах, но в живых телах имеет место процесс самовоспроизведения. Не что-то воспроизводит их, а они сами воспроизводят себя. Это принципиально новый момент.

Живые тела отличаются от неживых также наличием обмена веществ, способностью к росту и развитию, активной регуляцией своего состава и функций, способностью к движению, раздражимостью, приспособленностью к среде и т.д. Неотъемлемым свойством живого является деятельность, активность. Все живые существа должны действовать, в противном случае они погибают.

Однако строго научное разграничение живого и неживого встречает определенные трудности. Имеются переходные формы от нежизни к жизни. Так, например, вирусы, находящиеся вне клеток другого организма, не обладают ни одним из атрибутов живого. У них есть наследственный аппарат, но отсутствуют основные, необходимые для обмена веществ, ферменты, и поэтому они могут расти и размножаться лишь проникая в клетки организма-хозяина и используя его ферментные системы. В зависимости от того, какой признак считают самым важным, вирусы относят или не относят к живым системам.

**Концепции
возникновения
жизни**

Существует пять концепций возникновения жизни:

- 1) креационизм — божественное сотворение живого;
- 2) концепция многократного самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества (ее придерживался еще Аристотель, который считал, что живое может возникать и в результате разложения почвы);
- 3) концепция стационарного состояния, в соответствии с которой жизнь существовала всегда;
- 4) концепция панспермии — внеземного происхождения жизни;
- 5) концепция происхождения жизни на Земле в историческом прошлом в результате процессов, подчиняющихся физическим и химическим законам.

Первая концепция является религиозной и к науке прямого отношения не имеет. Вторую опроверг изучавший деятельность бактерий французский микробиолог XIX в. Л. Пастер, известный нам по названию его опытов, вошедших в современную технологию, — «пастеризация». Третья из-за своей умозрительности всегда имела немного сторонников.

К началу XX в. в науке господствовали две последние концепции. Концепция панспермии, согласно которой жизнь была занесена на Землю извне, опиралась на обнаружение при изучении метеоритов и комет «предшественников живого» — органических соединений, которые (возможно) и сыграли роль «семян».

У концепции появления жизни на Земле в историческом прошлом два варианта. Согласно одному происхождение жизни — результат случайного образования единичной «живой молекулы», в строении которой был заложен весь план дальнейшего развития живого.

По мнению французского биолога Ж. Моно, жизнь не следует из законов физики, но совместима с ними; жизнь — событие, исключительность которого необходимо сознавать. Согласно другой точке зрения, происхождение жизни — результат закономерной эволюции материи.

была впервые сформулирована естественно-научная концепция, согласно которой возникновение жизни — результат длительной эволюции на Земле — сначала химической, а затем биохимической. Эта концепция получила наибольшее признание в научной среде.

Можно выделить несколько этапов развития живых систем, начиная с самых простейших и затем следуя по пути постепенного усложнения. В вещественном плане для становления жизни нужен прежде всего углерод. Жизнь на Земле основана на этом элементе, хотя в принципе можно предположить существование жизни и на кремниевой основе. Возможно, где-то во Вселенной существует и «кремниевая цивилизация», но на Земле основой жизни является углерод.

Чем это обусловлено? Атомы углерода вырабатываются в недрах больших звезд в необходимом для образования жизни количестве. Углерод способен создавать несколько десятков миллионов подвижных, низкоэлектропроводных, студенистых, насыщенных водой, длинных, скрученных цепеобразных структур. Соединения углерода с водородом, кислородом, азотом, фосфором, серой и железом обладают замечательными каталитическими, строительными, энергетическими, информационными и иными свойствами.

Кислород, водород и азот наряду с углеродом можно отнести к «кирпичикам» живого. Клетка состоит на 70 % из кислорода, на 17 % — из углерода, на 10 % — из водорода и на 3 % — из азота. Все «кирпичики» живого принадлежат к наиболее устойчивым и распространенным во Вселенной химическим элементам. Они легко соединяются между собой, вступают в реакции и обладают малым атомным весом. Их соединения легко растворяются в воде.

По радиоастрономическим данным органические вещества существовали не только до появления жизни, но и до формирования нашей планеты. Следовательно, органические вещества абиогенного происхождения присутствовали на Земле уже при ее образовании.

При образовании Земли из космической пыли (частиц железа и силикатов — веществ, в состав которых входит кремний) и газа на внешних участках Солнечной системы газы могли конденсироваться. Органические соединения могли синтезироваться и на поверхности пылинок.

Химические и палеонтологические исследования древнейших докембрийских отложений и особенно многочисленные модельные эксперименты, воспроизводящие условия, которые господствовали на поверхности первобытной Земли, позволяют понять,

как в этих условиях происходило образование все более сложных органических веществ.

Жизнь возможна только при определенных физических и химических условиях (при определенной температуре, наличии воды, солей и т. д.). Прекращение жизненных процессов, например при высушивании семян или глубоком замораживании мелких организмов, не ведет к потере жизнеспособности. Если структура организма сохраняется неповрежденной, при возвращении к нормальным условиям жизненные процессы восстанавливаются.

Также и для возникновения жизни необходимы определенные показатели температуры, влажности, давления, уровня радиации, определенная направленность развития Вселенной и определенное время. Взаимное удаление галактик приводит к тому, что их электромагнитное излучение доходит до Земли сильно ослабленным. Если бы галактики сближались, то плотность радиации во Вселенной была бы столь велика, что жизнь не могла бы существовать. Углерод синтезирован в звездах-гигантах несколько миллиардов лет назад. Если бы возраст Вселенной был меньше, то жизнь также не могла бы возникнуть. К тому же планеты должны иметь определенную массу для того, чтобы удержать атмосферу. Список этих условий может быть продолжен.

**Земля в период
возникновения
жизни**

Наша планета — «золотая середина» в Солнечной системе. Она наиболее подходит для зарождения жизни. Возраст Земли — примерно 4—5 млрд лет. Температура ее поверхности в начальный период составляла 4 000—8 000 °С. По мере того как Земля остывала, углерод и более тугоплавкие металлы конденсировались и образовывали земную кору.

Атмосфера раньше была совершенно иной. Легкие газы — водород, гелий, азот, кислород — уходили из атмосферы, так как гравитационное поле нашей еще недостаточно плотной планеты не могло их удержать. Простые же соединения, содержащие эти элементы, удерживались.

Первичная атмосфера содержала водород и соединения углерода (метан) и азота (аммиак). Отсутствие в атмосфере кислорода было, вероятно, необходимым условием возникновения жизни: лабораторные опыты показывают, что органические вещества гораздо легче создаются в восстановительной среде, чем в атмосфере, богатой кислородом. О том, что атмосфера была именно такой, свидетельствуют самые древние горные породы на Земле.

Существуют разные точки зрения на время возникновения жизни на Земле. По мнению В. И. Вернадского, жизнь появилась одновременно с образованием Земли. А. И. Опарин считал, что периоду развития жизни предшествовал длительный период химической эволюции Земли, во время которого образовались слож-

ные органические вещества и протоцитки. Возникновение последних положило начало биохимической эволюции.

Известны три способа синтеза природных органических веществ. В о-п е р в ы х, углерод и азот вещества могли возникать в расплавленных глубинах Земли и выноситься на поверхность при вулканической деятельности, попадая далее в океан.

Во-в т о р ы х, как полагал А. И. Опарин, органические вещества могли создаваться и в океане из более простых соединений. Энергию для этих реакций синтеза, вероятно, доставляла интенсивная солнечная радиация (главным образом ультрафиолетовая), попадавшая на Землю до того, как образовался слой озона, который стал задерживать большую ее часть. Разнообразие находящихся в океанах простых соединений, огромная площадь поверхности Земли, доступность энергии и значительные временные масштабы позволяют предположить, что в океанах постепенно накопились органические вещества и образовался тот «первичный бульон», в котором могла возникнуть жизнь.

Наконец, органические соединения могли образоваться во Вселенной из неорганического космического «сырья».

Для построения любого сложного органического соединения, входящего в состав живых тел, необходим определенный набор *блоков-мономеров* (низкомолекулярных соединений): 29 мономеров (из них 20 аминокислот, 5 азотистых оснований) определяют биохимическое строение любого живого организма. Организм состоит из аминокислот, из которых построены все белки, азотистых соединений — составных частей нуклеиновых кислот, глюкозы — источника энергии, жиров — структурного материала, идущего на построение в клетке мембран и запасующего энергию.

После того как углеродистые соединения образовали «первичный бульон», могли уже организоваться *биополимеры* — белки и нуклеиновые кислоты, обладающие свойством самовоспроизводства себе подобных. Необходимая концентрация веществ для образования биополимеров могла возникнуть в результате осаждения органических соединений на минеральных частицах, например, на глине или гидроокиси железа, входящих в состав ила прогреваемого Солнцем мелководья. Кроме того, органические вещества могли образоваться на поверхности океана тонкую пленку, которую ветер и волны гнали к берегу, где она собиралась в толстые слои. В химии известен аналогичный процесс объединения родственных молекул в разбавленных растворах.

В начальный период формирования Земли воды, пропитывающие земной грунт, непрерывно перемещали растворенные в них вещества из мест их образования в места накопления. Там формировались *пробионты* — системы органических веществ, способных взаимодействовать с окружающей средой, т. е. расти и развиваться

за счет поглощения из окружающей среды разнообразных богатых энергией веществ.

В этом случае можно говорить о примитивном отборе, ведущем к постепенному усложнению и упорядоченности как обеспечивающих преимущество в выживании. Механизм отбора действовал на самых ранних стадиях зарождения органических веществ: из множества образующихся веществ сохранялись устойчивые к дальнейшему усложнению.

Затем образовались *микросферы* — шаровидные тела, возникающие при растворении и конденсации абиогенно полученных белковоподобных веществ.

В подтверждение возможности абиогенного синтеза были проведены следующие опыты. Воздействуя на смесь газов электрическими зарядами, имитирующими молнию, и ультрафиолетовым излучением, ученые получали сложные органические вещества, входящие в состав живых белков. Органические соединения, играющие большую роль в обмене веществ, были искусственно получены при облучении водных растворов углекислоты. Американский ученый С. Миллер в 1953 г. синтезировал ряд аминокислот при пропускании электрического заряда через смесь газов, предположительно составлявших первичную земную атмосферу. Были синтезированы и простые нуклеиновые кислоты. Этими экспериментами было показано, что абиогенное образование органических соединений во Вселенной могло происходить в результате воздействия тепловой энергии, ионизирующего и ультрафиолетового излучений и электрических разрядов. Первичным источником этих форм энергии служат термоядерные процессы, протекающие в недрах Земли.

Как показывает синергетика, энергия имела для возникновения жизни не меньшее значение, чем вещество. По мнению И. Пригожина, некоторые из первых стадий эволюции жизни были связаны с возникновением механизмов, способных поглощать и трансформировать химическую энергию, как бы выталкивая систему в сильнонеравновесные условия.

Неравновесные структуры — это лишь переход к живому, так как воспроизводства в них еще нет. Итак, в образовании органических соединений большую роль играло не только вещество космического пространства, но и энергия звезд.

Начало жизни на Земле

Начало жизни на Земле связано с появлением нуклеиновых кислот, способных к воспроизводству белков. Теория биохимической эволюции предлагает лишь общую

схему перехода от сложных органических веществ к простым живым организмам. В соответствии с ней на границе между коацерватами — сгустками органических веществ — могли выстраиваться молекулы сложных углеводов, что привело к образованию

примитивной клеточной мембраны, обеспечивающей коацерватам стабильность. В результате включения в коацерват молекулы, способной к самовоспроизведению, могла возникнуть примитивная клетка, способная к росту.

Самое трудное для данной модели — объяснить способность живых систем к самовоспроизведению, т.е. переход от сложных неживых систем к простым живым организмам. Несомненно, в модель происхождения жизни будут включаться новые знания, и они будут все более обоснованными. Но повторимся, что чем более качественно новое отличается от старого, тем труднее объяснить его возникновение. Поэтому речь идет лишь о моделях и гипотезах, а не о теориях.

Так или иначе, следующим шагом в организации живого должно было быть образование мембран, отделяющих смеси органических веществ от окружающей среды. С их появлением можно говорить о клетке — «единице жизни», главном структурном отличии живого от неживого.

Все основные процессы, определяющие поведение живого организма, протекают в клетках. Тысячи химических реакций происходят одновременно для того, чтобы клетка могла получить необходимые питательные вещества, синтезировать специальные биомолекулы и удалять отходы. Огромное значение для биологических процессов в клетке имеют ферменты. Они обладают часто высокой специализированностью и могут влиять только на одну реакцию. Принцип их действия в том, что молекулы других веществ стремятся присоединиться к активным участкам молекулы фермента. Тем самым повышается вероятность их столкновения, а следовательно, и скорость химической реакции.

Синтез белка осуществляется в цитоплазме клетки. Почти в каждой клетке человека синтезируется свыше 10 тыс. разных белков. Величина клеток — от микрометра до более 1 м (у нервных клеток, имеющих отростки). Клетки могут быть дифференцированными (нервные, мышечные и т.д.). Большинство из них обладает способностью восстанавливаться, но некоторые, например нервные, — не восстанавливаются или почти не восстанавливаются.

Эволюция форм жизни

Первые клетки не имели ядер. *Клетки без ядра*, но имеющие нити ДНК, напоминают существующие ныне бактерии и сине-зеленые водоросли.

Возраст этих самых древних организмов — около 3 млрд лет. Они обладают различными свойствами, среди которых: подвижность; способность питаться и запасать пищу и энергию; защита от нежелательных воздействий; способность к размножению; раздражимость; приспособление к изменяющимся внешним условиям; способность к росту.

На следующем этапе (приблизительно 2 млрд лет тому назад) *в клетке появляется ядро*. Одноклеточные организмы с ядром называются простейшими. Их 25—30 тыс. видов. Самые примитивные из них — амебы. Более сложные, инфузории, имеют еще и реснички. Ядро простейших окружено двухмембранной оболочкой с порами и содержит хромосомы и нуклеоли. Ископаемые простейшие — радиолярии и фораминиферы — являются основными частями осадочных горных пород. Многие простейшие обладают сложным двигательным аппаратом.

Примерно 1 млрд лет тому назад появились первые *многоклеточные организмы*, и произошел выбор растительного или животного образа жизни. Первый важный результат растительной деятельности — фотосинтез. Фотосинтез — это появление органического вещества из углекислоты и воды при использовании солнечной энергии, улавливаемой хлорофиллом. Продукт фотосинтеза — кислород в атмосфере.

Возникновение и распространение растительности привело к коренному изменению состава атмосферы, первоначально имевшей очень мало свободного кислорода. Растения, ассимилирующие углерод из углекислого газа, создали атмосферу, содержащую свободный кислород, — не только активный химический агент, но и источник озона, преградившего путь коротким ультрафиолетовым лучам к поверхности Земли.

Веками накапливавшиеся остатки растений образовали в земной коре грандиозные энергетические запасы органических соединений (уголь, торф), а развитие жизни в Мировом океане привело к созданию осадочных горных пород, состоящих из скелетов и других останков морских организмов.

К важным свойствам живых систем относятся:

1) компактность. В 5×10^{-15} г ДНК, содержащейся в оплодотворенной яйцеклетке кита, заключена информация для подавляющего большинства признаков животного, которое весит 5×10^7 г (масса возрастает на 22 порядка);

2) способность создавать порядок из хаотического теплового движения молекул и тем самым противодействовать возрастанию энтропии. Живое потребляет отрицательную энтропию и работает против теплового равновесия, увеличивая, однако, энтропию окружающей среды. Чем более сложно устроено живое вещество, тем более в нем скрытой энергии и энтропии;

3) обмен с окружающей средой веществом, энергией и информацией — живое способно ассимилировать полученные извне вещества, т.е. перестраивать их, уподобляя собственным материальным структурам и за счет этого многократно воспроизводить их;

4) в метаболических функциях большую роль играют петли обратной связи, образующиеся при автокаталитических реакциях.

«В то время как в неорганическом мире обратная связь между “следствиями” (конечными продуктами) нелинейных реакций и породившими их “причинами” встречается сравнительно редко, в живых системах обратная связь (как установлено молекулярной биологией), напротив, является, скорее, правилом, чем исключением»¹. В живых системах имеют место автокатализ, кросс-катализ и автоингибция — процесс, противоположный катализу (если присутствует данное вещество, оно не образуется в ходе реакции). Для создания новых структур нужна положительная обратная связь, а для устойчивого существования — отрицательная обратная связь;

5) жизнь качественно превосходит другие формы существования материи в плане многообразия и сложности химических компонентов и динамики протекающих в живом превращений. Живые системы характеризуются гораздо более высоким уровнем упорядоченности и асимметрии в пространстве и времени. Структурная компактность и энергетическая экономичность живого — результат высочайшей упорядоченности на молекулярном уровне;

6) в самоорганизации неживых систем молекулы просты, а механизмы реакций сложны; в самоорганизации живых систем, напротив, схемы реакций просты, а молекулы сложны;

7) у живых систем есть прошлое, у неживых его нет. «Целостные структуры атомной физики состоят из определенного числа элементарных ячеек, атомного ядра и электронов и не обнаруживают никакого изменения во времени, разве что испытывают нарушение извне. В случае такого внешнего нарушения они, правда, как-то реагируют на него, но если нарушение было не слишком большим, они по прекращению его снова возвращаются в исходное положение. Но организмы — не статические образования. Древнее сравнение живого существа с пламенем говорит о том, что живые организмы, подобно пламени, представляют собой такую форму, через которую материя в известном смысле проходит как поток»²;

8) жизнь организма зависит от двух факторов — наследственности, определяемой генетическим аппаратом, и изменчивости, зависящей от условий окружающей среды и реакции на них индивида. Интересно, что сейчас жизнь на Земле не могла бы возникнуть из-за кислородной атмосферы и противодействия других организмов. Раз зародившись, жизнь находится в процессе постоянной эволюции;

9) способность к избыточному самовоспроизводству. Это ведет, по Ч. Дарвину, к усилению борьбы за жизнь и ее следственно-естественному отбору.

¹ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М., 1986. — С. 209.

² Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — С. 233.

Вопросы для повторения

1. Чем отличается живое от неживого?
2. Вирусы — это живые или неживые тела? Почему?
3. Каков механизм действия вируса?
4. Каковы концепции происхождения жизни?
5. Какова модель происхождения жизни А. И. Опарина?
6. Зачем нужен озоновый слой в атмосфере?
7. Как образовалась атмосфера на Земле?
8. Что такое фотосинтез?
9. Каковы основные фазы эволюции форм жизни?
10. Каковы важнейшие свойства живых систем?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Почему проблема происхождения жизни — одна из самых трудных и интересных в науке?
2. Как Л. Пастер доказал, что жизнь не может возникнуть сама по себе? Как это связано с процессом пастеризации?
3. Что нужно, чтобы появилось и могло существовать живое вещество?
4. Каковы современные представления о происхождении жизни?
5. Каковы стадии происхождения жизни по А. И. Опарину?
6. Почему с точки зрения теории вероятностей вероятность возникновения жизни очень мала?
6. Почему деятельность живых систем сравнивают с работой фабрики и одновременно со звучанием симфонии?
7. В чем суть процесса метаболизма и что происходит с потребляемой пищей?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Специфичность жизни, отличие живых систем от неорганического мира хорошо видны с точки зрения химии. В живых системах протекает множество отдельных химических реакций, например, в человеческом организме в одну секунду совершается примерно 15 миллиардов актов реакций, многие из которых давно и хорошо изучены. Для живого специфичен определенный порядок этих реакций, их последовательность и объединение в целостную систему» (Е. В. Дубровский).

«Вся совокупность современных биохимических данных показывает, что отдельные, индивидуальные реакции, протекающие в живых телах, сравнительно просты и однообразны. Это хорошо известные и легко воспроизводимые в пробирке и колбе химика реакции окисления, восстановления, гидролиза, фосфорилиза, альдольного уплотнения, переаминирования и т. д. Ни в одной из них нет ничего специфически жизненного. Специфическим для живых тел прежде всего является то, что в них эти отдельные реакции определенным образом организованы во времени, сочетаются в единую целостную систему наподобие того, как отдельные звуки сочетаются в какое-либо музыкальное

произведение, например, симфонию. Стоит только нарушить последовательность звуков — получится дисгармония, хаос. Аналогичным образом и для организации живых тел важно то, что совершающиеся в них реакции протекают не случайно, не хаотически, а в строго определенном гармоничном порядке, который лежит в основе как восходящей, так и нисходящей ветви обмена веществ. Такие жизненные явления, как, например, брожение, дыхание, фотосинтез, синтез белков и т.д., — это длинные цепи реакций окисления, восстановления, альдольного уплотнения и т.д., сменяющих друг друга в совершенно точной последовательности, в строго определенном закономерном порядке. Но что особенно важно, что принципиально отличает живые организмы от всех систем неорганического мира — это присущая жизни общая направленность указанного выше порядка. Многие десятки и сотни тысяч химических реакций, совершающихся в живом теле, не только гармонично сочетаются в едином порядке, но и весь этот порядок закономерно обуславливает самосохранение и самовоспроизведение всей жизненной системы в целом и в данных условиях внешней среды, в поражающем соответствии с этими условиями» (А. И. Опарин, В. Г. Фесенков).

«На бесчисленном множестве небесных тел нет жизни, многие из этих тел никогда и не будут ею обладать в течение всего своего развития, так как оно здесь идет совершенно иными путями, чем это имеет место на нашей планете. Но из этого совершенно не следует, что только Земля является единственным обиталищем жизни. В нашей метagalактической системе имеются сотни миллионов галактик, и каждая отдельная галактика может состоять из миллиардов и сотен миллиардов звезд. Даже в нашей галактике, включающей примерно 150 миллиардов звезд, могут быть сотни тысяч планет, на которых возможно возникновение и развитие жизни. Во всей бесконечной Вселенной должно существовать также и бесконечное множество обитаемых планет» (А. И. Опарин, В. Г. Фесенков).

«Органический синтез осуществлялся в период, предшествовавший образованию Солнечной системы и во время ее образования; он имел место уже на том этапе, когда Земля еще окончательно не сформировалась. По-видимому, такой синтез происходил в атмосферах углеродных звезд, в солнечной туманности, в планетозималях и протопланетах» (Дж. Оро).

«Я полагаю, что обмен у первых организмов был направлен — а у первых синтетических организмов будет направлен — на синтез нуклеиновых кислот, способных служить матрицей в синтезе белка, а также на синтез одного или более белков, катализирующих образование нуклеиновых кислот и белков» (Дж. Холдейн).

«В некотором смысле живые системы можно сравнить с хорошо налаженным фабричным производством: с одной стороны, они являются вмещением многочисленных химических превращений, с другой — демонстрируют великолепную пространственно-временную организацию с весьма неравномерным распределением биохимического материала» (И. Пригожин, И. Стенгерс).

«Из множества возникавших при неспецифической полимеризации вариантов благодаря действию естественного отбора сохранились только

те, участие которых в метаболизме данной системы способствовало ее более длительному существованию, росту и размножению. Так происходило постепенное совершенствование как всей живой системы в целом, так и ее отдельных механизмов» (А. И. Опарин).

«Если бы в период первоначального синтеза таких молекул существовал свободный кислород, то они почти наверное в конце концов разрушились бы в результате окисления. Только в среде, лишенной свободного кислорода, эти предшественники живых систем могли накапливаться в концентрациях, способных обеспечить их частое взаимодействие друг с другом..., что было необходимо для возникновения первых метаболических систем» (П. Хочачка, Дж. Сомеро).

III. Прокомментируйте схему.

Происхождение и развитие жизни

Абиотическое образование простейших углеводов (мономеры)	15—5 млрд лет назад
Абиотический синтез важных для жизни органических соединений в первичной атмосфере	5—3 млрд лет назад
«Первичный бульон» А. И. Опарина в океане (на мелководье)	3 млрд лет назад
Биополимеры (ферменты, белки, нуклеиновые кислоты) — матрицы жизни, способные к самовоспроизводству	3 млрд лет назад
Мембраны	3 млрд лет назад
Клетка (протоплазма и оболочка)	3 млрд лет назад
Первые одноклеточные организмы без ядра (бактерии, сине-зеленые водоросли) — есть нити ДНК, но нет оболочки	3 млрд лет назад
Колонии клеток	3 млрд лет назад
Одноклеточные организмы с ядром (амебы)	2 млрд лет назад
Многоклеточные организмы, разделение на растения и животных	1 млрд лет назад

Литература

Мир вокруг нас: Беседы о Мире и его законах: Сб. ст. / Сост. Е. В. Дубровский. — М., 1983.

Опарин А. И., Фесенков В. Г. Жизнь во Вселенной. — М., 1956.

**Значение
клетки**

Переходя от проблемы происхождения жизни к проблеме строения живого, отметим, что научное знание в этой области в большей степени достоверно благодаря успехам, достигнутым новыми науками — *молекулярной биологией* и *генетикой*. Можно сказать, что примерно в середине XX в. произошла научная революция в биологии, вторая в XX в. после научной революции в физике, и благодаря ей биология выбилась в лидеры «соревнования» между науками.

Во второй половине XX в. были выяснены вещественный состав, структура клетки и процессы, происходящие в ней. «Клетка — это своего рода атом в биологии. Точно так же, как разные химические соединения сложены из атомов, так и живые организмы состоят из огромных скоплений клеток. Из работ физиков мы знаем, что все атомы очень похожи друг на друга: в центре каждого атома находится массивное, положительно заряженное ядро, а вокруг него вращается облако электронов — это как бы солнечная система в миниатюре! Клетки, подобно атомам, также очень сходны друг с другом. Каждая клетка содержит в середине плотное образование, названное *ядром*, которое плавает в “полужидкой” *цитоплазме*. Все вместе заключено в *клеточную мембрану*»¹.

Основное вещество клетки — *белки*, молекулы которых обычно содержат несколько сот аминокислот и похожи на бусы или браслеты с брелоками, состоящими из главной и боковой цепей. У всех живых видов имеются свои особые белки, определяемые генетическим аппаратом. В клетке и происходит процесс воспроизводства белков в соответствии с генетическим кодом организма. Без клетки генетический аппарат не мог бы существовать.

Если в клетку попадут вредные для организма бактерии и другие инородные тела, то с ними вступает в бой иммунная система, состоящая из блуждающих клеток, которые у низших животных играют роль пищеварительных органов, а у высших животных, в том числе у человека, их значение заключается именно в защите специфического строения данного организма. Теория иммунитета разработана русским ученым И. И. Мечниковым.

¹ Кендрью Дж. Нить жизни. — М., 1968. — С. 16.

О размерах клетки и содержании в ней веществ свидетельствует такая аналогия. «Представьте себе, что мы увеличим человека до размеров Великобритании. Тогда одна его клетка будет примерно такой же величины, как фабричное здание. Внутри клетки находятся большие молекулы, содержащие тысячи атомов, в том числе молекулы нуклеиновой кислоты. Так вот, даже при этом огромном увеличении, которое мы себе вообразили, молекулы нуклеиновой кислоты будут тоньше электрических проводов»¹.

Сопоставление клетки с фабрикой неслучайно. «Любой живой организм можно уподобить гигантской фабрике, на которой производится множество разнообразных химических продуктов; на ней производится и энергия, приводящая в движение всю фабрику. Более того, она может воспроизводить самое себя (что для обычных фабрик совершенно невозможно!). И если теперь вспомнить, насколько сложны все эти производственные процессы, то станет ясно, что весь сложный комплекс операций, производимых на фабрике, нельзя вести как попало, без должной организации, без подразделения на цеха, внутри которых установлены рядами станки и машины, и т.д. Иными словами, для того чтобы в живом организме все процессы протекали согласованно, необходима какая-то определенная организация составляющих его структур»². Ученые выясняют, как работает эта «фабрика» и каков механизм ее воспроизводства.

Попадающие в организм белки расщепляются на *аминокислоты*, которые затем используются им для построения собственных белков. Нуклеиновые кислоты создают ферменты, управляющие реакциями. Например, для процесса брожения нужна дюжина ферментов, каждый из которых управляет одной реакцией и действует только на строго определенный вид молекул. Все ферменты представляют собой белки. Фермент похож на дирижера оркестра. В каждой клетке несколько тысяч «дирижеров-ферментов». Это станки и машины «фабрики».

В качестве примера процессов, проходящих в клетках и тканях организма, рассмотрим роль *гемоглобина* — глобулярного белка красных кровяных клеток — эритроцитов, цепи которого свернуты в сферу. По словам Дж. Кендрию, «...присутствием гемоглобина обусловлен красный цвет крови. Функция этого белка состоит в том, чтобы переносить кислород из легких к тканям. Гемоглобин обладает замечательной способностью связывать молекулярный кислород. Точнее говоря, одна молекула гемоглобина может связать одновременно четыре молекулы кислорода. В легких, где давление кислорода выше, происходит присоединение молекул кислорода к гемоглобину. Гемоглобин доставляет их к тканям, но там

¹ Кендрию Дж. Нить жизни. — М., 1968. — С. 19.

² Там же. — С. 14.

давление ниже, и кислород освобождается. Далее происходит диффузия кислорода внутрь клеток. В клетке молекулы кислорода встречаются с другим белком — *миоглобином* <...> Это как бы младший брат гемоглобина; его молекула в четыре раза меньше и способна связать не четыре, а только одну молекулу кислорода. Миоглобин тоже красный; этим объясняется красный цвет мяса. Молекулы кислорода переходят от гемоглобина к миоглобину, где и хранятся до тех пор, пока не потребуются клетке»¹.

Молекулярная биология, изучающая биологические процессы на молекулярном уровне, — один из наиболее ярких примеров конвергенции двух наук — физики и биологии.

Воспроизводство жизни

Важными составляющими процесса развития организма являются:

оплодотворение (слияние половых клеток) при половом размножении;

воспроизводство в клетке по данной матрице определенных веществ и структур;

деление клеток, в результате которого происходит рост организма из одной оплодотворенной яйцеклетки.

Существуют два способа деления клеток: митоз и мейоз. *Митоз* — деление клеточного ядра, при котором образуются два дочерних ядра с наборами хромосом (части ядер клеток), идентичными наборам родительской клетки. *Мейоз* — деление клеточного ядра с образованием четырех дочерних ядер, каждое из которых содержит вдвое меньше хромосом, чем исходное ядро. Первый способ характерен для всех клеток, кроме половых; второй — лишь для половых клеток. При всех формах клеточного деления ДНК каждой хромосомы реплицируется.

Воспроизводство себе подобных и наследование признаков осуществляется с помощью наследственной информации, материальным носителем которой являются молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). ДНК состоит из двух цепей, идущих в противоположных направлениях и закрученных одна вокруг другой наподобие электрических проводов (наподобие винтовой лестницы).

В клетке человека ДНК распределена на 23 пары хромосом и содержит около 1 млрд пар оснований. Длина ее — около 1 м. Если составить цепочку из ДНК всех клеток одного человека, то она сможет протянуться через всю Солнечную систему.

Носители информации — нуклеиновые кислоты — содержат азот и выполняют три функции:

- самовоспроизведение;
- хранение информации;
- реализация этой информации в процессе роста новых клеток.

¹ Кендрию Дж. Нить жизни. — М., 1968. — С. 31.

Мономеры нуклеиновых кислот несут информацию, по которой строятся аминокислоты (каждой аминокислоте, входящей в белок, соответствует определенный набор из трех мономеров НК — так называемый триплет). Генетическая информация, содержащаяся в нуклеиновых кислотах, проявляется в образовании ферментов, которые делают возможным строение живого тела.

Реализация многообразной информации о свойствах организма осуществляется путем синтеза различных белков согласно генетическому коду. Сходство и различие тел определяются набором белков. Чем ближе организмы друг к другу, тем более сходны их белки.

Молекулы ДНК — это как бы набор, с которого «печатается» организм в «типографии» Вселенной. Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза одного белка, называют *геном*. Гены расположены в хромосомах.

Процесс воспроизводства состоит из трех частей, называющихся репликация, транскрипция и трансляция. Первая часть процесса воспроизводства — **репликация** — это удвоение молекулы ДНК, необходимое для последующего деления клеток. В основе способности клеток к самовоспроизведению лежат: 1) уникальное свойство ДНК самокопироваться; 2) строго равноценное деление репродуцированных хромосом. После самокопирования клетка может делиться на две идентичные.

Как происходит репликация? ДНК распределяется на две цепи, в затем из нуклеотидов, свободно плавающих в клетке, вдоль каждой цепи формируется еще одна цепь. Этот процесс можно сравнить с печатанием фотокарточек. Так как каждая клетка многоклеточного организма возникает из одной зародышевой клетки в результате многократных делений, все клетки организма имеют одинаковый набор генов.

Вторая часть процесса воспроизводства — **транскрипция** — представляет собой перенос кода ДНК путем образования одноцепочечной молекулы информационной рибонуклеиновой кислоты (РНК) на одной нити ДНК. Информационная РНК — копия части молекулы ДНК, одного или группы рядом лежащих генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции.

РНК отличается от ДНК тем, что вместо дезоксирибозы содержит рибозу (речь идет об одной гидроксильной группе ОН каждого сахарного кольца), а вместо азотистого основания тимина — урацил.

Третья часть процесса воспроизводства — **трансляция** — представляет собой синтез белка на основе генетического кода информационной РНК в особых частях клетки — рибосомах, куда доставляет аминокислоты транспортная РНК.

Основной механизм, с помощью которого молекулярная биология объясняет передачу и переработку генетической информации, по существу, является петлей обратной связи. ДНК, содержащая в линейноупорядоченном виде всю информацию, необходимую для синтеза различных протеинов (без которых невозможно строительство и функционирование клетки), участвует в последовательности реакций, в ходе которых вся информация кодируется в виде определенной последовательности различных протеинов. Некоторые ферменты осуществляют обратную связь среди синтезированных протеинов, активируя и регулируя не только различные стадии превращений, но и автокаталитический процесс репликации ДНК, позволяющий копировать генетическую информацию с такой же скоростью, с какой размножаются клетки.

Как показали исследования по молекулярной биологии последних десятилетий, петли положительной обратной связи (вместе с отрицательной обратной связью и более сложными процессами взаимного катализа) составляют самую основу жизни. Именно такие процессы позволяют объяснить, каким образом совершается переход от крохотных комочков ДНК к сложным живым организмам.

Интересен вопрос о том, как получаются разные белки и клетки. Французскими учеными Ф.Жакобом и Ж.Моно предложена следующая гипотеза. Ген-регулятор производит молекулу-репрессор. Она выключает, когда нужно, оператор, который размещается на одном конце оперона — группы генов, и в результате данные ферменты не производятся.

Генетика прошла в своем развитии 7 этапов.

Эволюция генетики

Этап 1. Г. Мендель (1822 — 1884) открыл законы наследственности. Скрещивая гладкий и морщинистый сорта гороха, он

получил в первом поколении только гладкие семена, а во втором поколении — $\frac{1}{4}$ морщинистых семян. Он догадался: в зародышевую клетку поступают два наследственных задатка — от каждого из родителей. Если они не одинаковые, то у гибрида проявляется один доминантный (преобладающий) признак — гладкость. Рecessивный (уступающий) признак остается как бы в скрытом состоянии. В следующем поколении признаки распределяются в соотношении 3:1.

«Когда австрийский монах Грегор Мендель развлекался наблюдением результатов скрещивания красно- и белоцветущего гороха в монастырском саду, даже наиболее дальновидные его современники не могли вообразить себе всех последствий его находок», — справедливо пишет Г.Селье¹. Результаты исследований

¹ Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987. — С. 26.

Г. Менделя, опубликованные в 1865 г., не обратили на себя внимания и были переоткрыты после 1900 г.

Этап 2. А. Вейсман (1834—1914) показал, что половые клетки обособлены от остального организма и поэтому не подвержены влияниям, действующим на соматические ткани.

Несмотря на убедительные опыты А. Вейсмана, которые было легко проверить, победившие в советской биологии сторонники Т. Д. Лысенко долго отрицали генетику, называя ее вейсманизмом-морганизмом. В этом случае идеология победила науку, и многие ученые, как, например, Н. И. Вавилов, были репрессированы.

Этап 3. Г. де Фриз (1848—1935) открыл существование наследуемых мутаций, составляющих основу дискретной изменчивости. Он предположил, что новые виды возникали вследствие мутаций.

Понятие мутации в генетике аналогично понятию флуктуации в синергетике. 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, воздействием химических соединений, изменением температуры, наконец, они могут быть просто случайными.

«Согласно нашей аналогии мутации, очевидно, представляют собой опечатки, неизбежно появляющиеся при каждом новом переиздании Книги Жизни. Подобно тому как в наших книгах опечатки чаще всего приводят к бессмыслице и крайне редко улучшают текст, так и мутации почти всегда приносят вред; чаще всего они просто убивают организм или клетку на очень ранних стадиях, и мы даже не замечаем, что они вообще существовали на свете. С другой стороны, тот факт, что мутация летальна, сам по себе исключает опечатку из последующих изданий, ибо содержащая эту мутацию клетка никогда не произведет себе подобных. В иных случаях мутация может оказаться вредной, но не летальной. Она появится и в новых клетках, но есть надежда, что такие вредные мутации в последующих поколениях исчезнут в результате естественного отбора. Изредка все же считается, что мутация оказывает благоприятное действие. Она уже не исчезает, поскольку создает организму большие преимущества в борьбе за существование. В конце концов эта мутация будет постоянно включаться в Книгу Жизни данного вида организмов. Так протекает процесс эволюции»¹.

Этап 4. Т. Морган (1866—1945) создал хромосомную теорию наследственности, в соответствии с которой каждому биологическому виду присуще свое строго определенное число хромосом.

¹ Кендрия Дж. Нить жизни. — М., 1968. — С. 117—118.

Этап 5. Г. Меллер в 1927 г. установил, что генотип может изменяться под действием рентгеновских лучей. Отсюда берут свое начало индуцированные мутации и то, что впоследствии было названо генетической инженерией с ее грандиозными возможностями и опасностями вмешательства в генетический механизм.

Этап 6. Дж. Бидл и Э. Татум в 1941 г. выявили генетическую основу процессов биосинтеза.

Этап 7. Дж. Уотсон и Ф. Крик предложили модель молекулярной структуры ДНК и механизма ее репликации.

То, что именно ДНК является носителем наследственной информации, выяснилось в середине 40-х гг. XX в., когда после перенесения ДНК одного штамма бактерий в другой в нем стали появляться бактерии штамма, чья ДНК была взята.

25-летний Дж. Уотсон, приехав в 1953 г. из США в Кембридж, должен был заниматься изучением структуры белка. Он подолгу беседовал с Ф. Криком о появившихся только что улучшенных рентгенограммах ДНК и правилах спаривания ее оснований. Им удалось расшифровать ДНК за несколько недель.

Чуть позже был открыт триплетный перекрывающийся (как азбука Морзе) генетический код, универсальный для всех организмов, и ядро стало пониматься как орган управления, содержащий всю информацию о клетке. Продолжая аналогию ДНК с книгой, можно сказать, что если аминокислота — это слово, то бактерия — книга, а человек — огромная энциклопедия.

В заключение следует сказать несколько слов о генетических аспектах поведения вирусов, которые в тысячу раз больше обычных молекул белка, не питаются и не растут, а воспроизводятся только в клетке хозяина. Их изучение хорошо демонстрирует значение аппарата наследственности.

Вирус имеет головку и спираль с хвостом. Спиральная пружина сжимается и подобно игле проталкивает хвост внутрь клетки. Затем через трубку впрыскивается ДНК, и примерно уже через несколько минут клетка разрывается, освобождая сотню и больше новых вирусных частиц, готовых к заражению новых клеток. Процесс заражения сходен с государственным переворотом. Вирус совершает революцию в клетке. Бороться с ним можно с помощью интерферона — синтезируемого клетками вещества, которое специально предназначено для разрушения чужих ДНК.

Генетика свидетельствует: мы несем в себе информацию наших умерших предков и всей природы. Вся природа как бы заключена в нас. Это говорит об ответственности, налагаемой на нас природой.

Перед современной генетикой стоят проблемы изучения сочетаний (связок) генов, их динамики (наблюдение за изменением признаков), поиска социально обусловленных генов.

Появление генетики повлияло на структуру исследования в биологии в целом. «Биологи прежних лет в целом продвигались сверху вниз. Они начинали с целого организма, потом разнимали его на части и рассматривали отдельные органы и ткани; далее они изучали отдельные клетки под микроскопом — так мало-помалу они продвигались вниз, от сложного к простому. Новая биология начинается с другого конца и продвигается с самого низа вверх. Она начала с простейших компонентов живого организма — стала изучать отдельные молекулы и их взаимодействие внутри клеток, пренебрегая всем остальным. Теперь пришла пора обратиться к этому остальному и двигаться вверх вдоль иерархии биологической организации»¹. По этому пути и идет современная биология.

Синтетическая теория эволюции

Развитие генетики способствовало созданию синтетической теории эволюции. Применительно к живой природе эволюцию понимают как образование более сложных видов из простых. Как это происходит? Существует ли целесообразность в природе? Какова роль случайности? Что является источником развития: тренировка органов (Ж. Б. Ламарк); борьба за существование и выживание наиболее приспособленных (естественный отбор, по Ч. Дарвину); способность к взаимопомощи (П. А. Кропоткин); природные катастрофы: кометы, изменения температуры и пр. (Ж. Кювье)?

Генетика с помощью простых опытов опровергла эволюционные представления Ж. Б. Ламарка о наследовании приобретенных при жизни признаков. Так, А. Вейсман последовательно на протяжении многих поколений отрезал мышам хвосты. Он постулировал, что признаки, приобретаемые организмом и приводящие к изменению фенотипа, не оказывают прямого воздействия на половые клетки, передающие признаки следующему поколению.

Как же происходит эволюция видов? Ч. Дарвин (1809—1882) во время своего кругосветного плавания на корабле «Бигль» собрал множество данных, свидетельствующих о том, что виды нельзя считать неизменными. После возвращения в Англию он приступил к изучению практики разведения голубей и других домашних животных, что натолкнуло его на идею естественного отбора. В 1778 г. священник Т. Мальтус опубликовал «Трактат о народонаселении», в котором обрисовал, к чему привел бы рост населения, если бы он ничем не сдерживался. Ч. Дарвин перенес его рассуждения на природу и обратил внимание на то, что несмотря на высокий репродуктивный потенциал, численность популяций остается относительно постоянной. Ученый предположил, что при интенсивной конкуренции внутри популяции лю-

¹ Кендрия Дж. Нить жизни. — М., 1968. — С. 118—119.

бые изменения, благоприятные для выживания в данных условиях, повышают способность особей размножаться и оставлять потомство. Это стало первым основанием теории эволюции.

Другим основанием теории эволюции послужил принцип униформизма английского геолога Ч. Лайеля (1797 — 1875), в соответствии с которым медленные ничтожные изменения приводят к поразительным результатам, если происходят долго в одном направлении. Точно так же небольшие изменения на протяжении миллионов лет приводят к образованию новых видов.

Непосредственно на мысль об эволюции органических форм Ч. Дарвина натолкнула находка в одном и том же регионе (в Южной Америке) скелетов ленивца — огромного (ископаемого) и маленького (современного).

Теория эволюции была сформулирована Ч. Дарвином в 1839 г. Наибольший вклад ученого в науку заключался не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить. В 1859 г. Ч. Дарвин опубликовал труд «Происхождение видов путем естественного отбора». Гипотеза ученого основана на трех наблюдениях и двух выводах.

Наблюдение 1. Особи, входящие в состав популяции, обладают большим репродуктивным потенциалом.

Наблюдение 2. Число особей в каждой данной популяции примерно постоянно.

Вывод 1. Многим особям не удастся выжить и оставить потомство. В популяции происходит «борьба за существование».

Наблюдение 3. Во всех популяциях существует изменчивость.

Вывод 2. В «борьбе за существование» те особи, признаки которых наилучшим образом приспособлены к условиям жизни, обладают «репродуктивным преимуществом» и производят больше потомков, чем менее приспособленные особи. Этот вывод содержит гипотезу о *естественном отборе*, который может служить механизмом эволюции.

Не столь важно, о какой конкуренции идет речь: внутри- или межвидовой. Решающим фактором, определяющим выживание, является приспособленность к среде. Любое, пусть даже самое незначительное физическое, физиологическое или поведенческое изменение, дающее одному организму преимущество перед другим, будет действовать в «борьбе за существование» как селективное преимущество. Благоприятные изменения будут передаваться следующим поколениям, а неблагоприятные — устраняться отбором, так как они невыгодны организму. Действуя таким образом, естественный отбор ведет к повышению «мощности» вида, а в филогенетическом плане обеспечивает его выживание.

Данные в поддержку гипотезы Ч. Дарвина дают различные науки. Палеонтология, которая занимается изучением ископаемых

остатков, подтверждает факт прогрессивного возрастания сложности организмов. В самых древних породах встречаются лишь несколько типов организмов, имеющих простое строение. Постепенно разнообразие и сложность возрастают. Многие виды, появляющиеся на каком-либо стратиграфическом уровне, затем исчезают. Так происходит возникновение и вымирание видов.

В соответствии с данными палеонтологии можно считать, что в протерозойскую геологическую эру (700 млн лет назад) появились примитивные водоросли и морские организмы; в палеозойскую (365 млн лет назад) — наземные растения и пресмыкающиеся; в мезозойскую (185 млн лет назад) — хвойные растения, птицы, млекопитающие; в кайнозойскую (70 млн лет назад) — современные виды. Конечно, следует иметь в виду, что палеонтологическая летопись неполна.

Теория эволюции знаменовала собой крупный прорыв в биологии наряду с классификацией К. Линнея и клеточной теорией. Но вопросы и сомнения оставались. Всю жизнь Ч. Дарвина преследовал «кошмар Дженкина» — возражение следующего содержания: если среди поля красных маков появится белый, то после скрещивания он даст розовое потомство, а через 2—3 поколения исчезнет всякое воспоминание о белом цвете (ведь в природе нет «демона Максвелла» — существа, которое отбирает и сортирует информацию).

Лишь возникновение генетики дало возможность отвергнуть это возражение. Опровергнув концепцию Ж. Б. Ламарка, генетика помогла дарвинизму, объяснив, что появившийся признак не может исчезнуть, так как наследственный аппарат сохраняет случайно возникшее в нем, подобно тому, как сохраняются опечатки в книгах при их воспроизводстве.

Генетика сформировала новые представления об эволюции, получившие название неodarвинизма, который можно определить как теорию органической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически. Другое общепринятое название неodarвинизма — *синтетическая, или общая, теория эволюции*. Механизм эволюции стал рассматриваться как состоящий из двух частей: случайных мутаций на генетическом уровне и наследования наиболее удачных с точки зрения приспособления к окружающей среде мутаций, так как их носители выживают и оставляют потомство.

Схематически механизм эволюции можно представить следующим образом:

мутация → появление нового признака → борьба
за существование → естественный отбор.

«Теория Дарвина в ее сегодняшней форме содержит, собственно, два независимых утверждения. Согласно одному из них в про-

цессе воспроизведения испытываются все новые формы, которые в своем большинстве при данных внешних обстоятельствах снова исчезают как непригодные; сохраняются лишь немногие приспособленные. Во-вторых, предполагается, что новые формы возникают вследствие чисто случайных нарушений генной структуры»¹. Некоторые из событий, приводимых в качестве доказательства эволюционной гипотезы, воспроизводимы в лаборатории, однако это не означает, что они действительно имели место в прошлом, а свидетельствует об их возможности. На многие возражения до сих пор нет ответа. Поэтому концепция Дарвина требует дальнейшего подтверждения.

Вопросы для повторения

1. Чем отличается ДНК от РНК?
2. Какие виды РНК вы знаете?
3. Каков механизм воспроизводства жизни на молекулярном уровне?
4. Что такое рибосома?
5. Что такое ген?
6. Что изучает генетика?
7. Какой вклад в теорию эволюции внесла генетика?
8. Чем занимается генная инженерия?
9. Что такое биосинтез и как он происходит в организме?
10. Что такое общая теория эволюции? Каков ход эволюции на Земле?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что такое ген, ДНК, РНК, хромосома, рибосома, аминокислота, мутация, генотип, фенотип, онтогенез, филогенез, доминантность и рецессивность?
2. Как из одной оплодотворенной клетки возникает организм?
3. Что такое самовоспроизводство и каков механизм самовоспроизводства жизни на молекулярном уровне?
4. Является ли ампутация ноги мутацией?
5. Как определить, что приобретенные признаки не наследуются? Как это показали опыты А.Вейсмана с мышами?
6. Каковы суть и основание возражения против теории эволюции Ч.Дарвина?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Так как рождается гораздо больше особей каждого вида, чем может выжить, и так как между ними поэтому часто возникает борьба за существование, то из этого следует, что любое существо, если оно хотя бы незначительно изменится в направлении, выгодном для него в сложных и нередко меняющихся условиях его жизни, будет иметь больше шансов

¹ Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — С. 236.

выжить и, таким образом, будет сохраняться естественным отбором. В силу действия закона наследственности всякая сохраненная отбором разновидность будет размножаться в своей новой, видоизмененной форме» (Ч. Дарвин).

III. Прокомментируйте схему.

Воспроизводство живого

Репликация ДНК → транскрипция (запись на информационной РНК) → трансляция (биосинтез в рибосоме с помощью транспортной РНК, доставляющей аминокислоты)

Литература

Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. — СПб., 1991.

Кендрю Дж. Нить жизни. — М., 1968.

Краткий миг торжества: Сб. ст. / Сост. В. Черникова. — М., 1989.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ЭКОЛОГИЯ И УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ

**Отличия растений
от животных**

Как считают большинство биологов, примерно 1 млрд лет назад произошло разделение живых существ на два царства — царство растений и царство животных. Различия между ними можно сгруппировать по трем признакам: по структуре клеток и их способности к росту, по способу питания и по способности к движению.

Отнесение живых существ к растениям и животным проводится не по каждому признаку, а по совокупности различий. Так, кораллы, моллюски, речная губка-бодяга всю жизнь остаются неподвижными и тем не менее по другим свойствам относятся к животным. Существуют насекомоядные растения, которые по способу питания считаются животными. Выделяют и переходные типы. Так, например, эвглена зеленая питается, как растение, а двигается, как животное. И все же три отмеченные группы различий являются основными в подавляющем большинстве случаев. Кристаллы растут, но не воспроизводятся; растения воспроизводятся, но не двигаются; животные двигаются и воспроизводятся. В то же время у растений некоторые клетки сохраняют способность к активному росту на протяжении всей жизни организма. В пластидах — белковых телах клеток растений — заключен хлорофилл, придающий растениям зеленую окраску. Его наличие связано с основной космической функцией растений — улавливанием и превращением солнечной энергии. Эта функция определяет строение растений. «Свет лепит формы растений, как из пластического материала», — говорил австрийский ботаник И. Визнер. По словам В. И. Вернадского, «в биосфере видна неразрывная связь между освещающим ее световым солнечным излучением и находящимся в ней зеленым живым миром организованных существ»¹.

У животных клеток есть центриоли, но нет хлорофилла и клеточной стенки, мешающей изменению формы. Что же касается различий в способе питания, то большинство растений необходимые для жизни вещества получает в результате поглощения минеральных соединений, а животные питаются готовыми орга-

¹ Вернадский В. И. Биосфера // Избр. соч. — М., 1960. — Т. 5. — С. 23.

ническими соединениями, которые создают растения в процессе фотосинтеза.

В ходе развития животного мира происходила дифференциация органов по функциям, которые они выполняют. Так возникли двигательная, пищеварительная, дыхательная, кровеносная, нервная системы и органы чувств.

В XVIII — XIX вв. ученые потратили много усилий для систематизации всего многообразия растительного и животного мира. Появилось новое направление в биологии — *систематика*. Были созданы классификации растений и животных в соответствии с их отличительными признаками. Основной структурной единицей был признан *вид*, а более высокие уровни составили последовательно *род*, *отряд*, *класс*.

На Земле существует 500 000 видов растений и 1,5 млн видов животных, в том числе позвоночных — 70 000, птиц — 16 000, млекопитающих — 12 540 видов. Подробная систематизация различных форм жизни создала предпосылки для изучения живого вещества как целого, что впервые осуществил выдающийся русский ученый В. И. Вернадский в учении о биосфере.

Учение В. И. Вернадского о биосфере

В развитие биологии в XX в. большой вклад внесли русские ученые. Мы говорили о первой научной модели происхождения жизни, созданной А. И. Опариным.

Русская биологическая школа имеет давние традиции. В. И. Вернадский был учеником выдающегося почвоведов В. В. Докучаева, который создал учение о почве как своеобразной оболочке Земли, являющейся единым целым, включающим в себя живые и неживые тела. По существу, учение о биосфере было продолжением и распространением идей В. В. Докучаева на более широкую сферу реальности. В дальнейшем развитие биологии в этом направлении привело к созданию одной из основных наук второй половины XX в. — экологии.

Существуют два основных определения понятия «биосфера». Первоначально биосфера понималась как совокупность всех живых организмов на Земле. В. И. Вернадский, изучавший взаимодействие живых и неживых систем, выдвинул принцип неразрывной связи живого и неживого, переосмыслив понятие биосферы. В его понимании *биосфера — это единство живого и неживого*.

Такое толкование определило взгляд В. И. Вернадского на проблему происхождения жизни на Земле. Рассматривались следующие варианты: жизнь возникла до образования Земли и была занесена на нее; жизнь зародилась после образования Земли; жизнь зародилась вместе с формированием Земли. Вернадский придерживался последней из этих точек зрения и считал, что нет убедительных научных данных о том, что живое когда-либо не существовало на нашей планете. Иными словами, биосфера была на Земле всегда.

Под биосферой, таким образом, В. И. Вернадский понимал тонкую оболочку Земли, в которой все процессы протекают под непосредственным воздействием живых организмов. Биосфера располагается на стыке литосферы, гидросферы и атмосферы в диапазоне от 10 км в глубь Земли до 33 км над Землей. Занимаясь им же созданной биогеохимией, изучающей распределение химических элементов по поверхности планеты, В. И. Вернадский пришел к выводу, что нет практически ни одного элемента таблицы Менделеева, который не включался бы в живое вещество. Ученый подчеркивал также важное значение энергии и называл живые организмы механизмами превращения энергии.

**Эмпирические
обобщения
В. И. Вернадского**

Результаты своих исследований В. И. Вернадский называл эмпирическими обобщениями. Их мы и рассмотрим в данном разделе.

Вывод 1. Первым выводом из учения о биосфере является *принцип целостности* биосферы. По мнению В. И. Вернадского, «можно говорить о всей жизни, о всем живом веществе как о едином целом в механизме биосферы»¹. Строение Земли, по В. И. Вернадскому, есть согласованный в своих частях механизм. «Твари Земли являются созданием космического процесса, необходимой и закономерной частью стройного космического механизма»².

Эту мысль подтверждают узкие пределы существования жизни — физические постоянные, уровни радиации и т. п. Создается впечатление, будто кто-то создал такую среду, чтобы жизнь стала возможна. Так, существует гравитационная постоянная, или константа всемирного тяготения, определяющая размеры звезд, температуру и давление в них, влияющие на ход реакций. Если она будет чуть меньше, звезды станут недостаточно горячими для протекания в них ядерных реакций; если чуть больше — звезды превзойдут «критическую массу» и обратятся в «черные дыры», выпав тем самым из круговорота материи. Константа сильного взаимодействия определяет ядерный заряд в звездах. Если ее изменить, цепочки ядерных реакций не дойдут до углерода и азота. Постоянная электромагнитного взаимодействия определяет конфигурацию электронных оболочек и прочность химических связей; ее изменение делает Вселенную мертвой. Существует также и *антропный принцип*, в соответствии с которым мировые константы как бы подгоняются к возможности существования жизни.

Вывод 2. С принципом целостности биосферы и неразрывной связи в ней живых и косных компонентов соотносится и *принцип гармонии* и *организованности* биосферы. В биосфере, по В. И. Вер-

¹ Вернадский В. И. Избр. соч.: в 5 т. — М., 1960. — Т. 5. — С. 22.

² Там же. — С. 11.

надскому, «все учитывается и все приспособляется с той же точностью, с той же механичностью и с тем же подчинением мере и гармонии, какую мы видим в стройных движениях небесных светил и начинаем видеть в системах атомов вещества и атомов энергии»¹.

Вывод 3. По мнению В.И.Вернадского, живое играет огромную роль в эволюции Земли. «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем организмы, взятые в целом... Все минералы верхних частей земной коры — свободные алюмокремниевые кислоты (глины), карбонаты (известняки и доломиты), гидраты окиси Fe и Al (бурые железняки и бокситы) и многие сотни других непрерывно создаются в ней только под влиянием жизни»². Лик Земли как небесного тела, заключает В.И.Вернадский, фактически сформирован жизнью.

Вывод 4. Биосфера играет космическую роль в трансформации энергии. «Можно рассматривать всю эту часть живой природы как дальнейшее развитие одного и того же процесса превращения солнечной световой энергии в действенную энергию Земли»³.

Вывод 5. Растекание жизни есть проявление ее геохимической энергии. Живое вещество, подобно газу, растекается по земной поверхности в соответствии с *правилом инерции*. Мелкие организмы размножаются гораздо быстрее, чем крупные. Скорость передачи жизни зависит от плотности живого вещества.

Вывод 6. Космическая энергия вызывает давление жизни, которое достигается размножением. Размножение организмов уменьшается по мере увеличения их количества.

Вывод 7. В.И.Вернадский предложил понятие автотрофности. Автотрофными называют организмы, которые берут все нужные им для жизни химические элементы в биосфере из окружающей их косной материи и не требуют для построения своего тела готовых соединений другого организма. Поле существования этих зеленых автотрофных организмов определяется прежде всего областью проникновения солнечных лучей.

Вывод 8. Формы нахождения химических элементов: горные породы и минералы; магмы; рассеянные элементы; живое вещество. В.И.Вернадский сформулировал закон бережливости в использовании живым веществом простых химических тел: раз вошедший элемент проходит длинный ряд состояний и организм вводит в себя только необходимое количество элементов.

Вывод 9. Жизнь целиком определяется полем устойчивости зеленой растительности. Пределы жизни определяются в конце

¹ Вернадский В. И. Избр. соч.: в 5 т. — М., 1960. — Т. 5. — С. 24.

² Там же. — С. 21.

³ Там же. — С. 22.

концов физико-химическими свойствами соединений, строящих организм, их неразрушимостью в определенных условиях среды. Максимальное поле жизни определяется крайними пределами выживания организмов. Верхний предел жизни обуславливается лучистой энергией, присутствие которой исключает жизнь и от которой предохраняет озоновый щит. Нижний предел связан с повышением температуры. Интервал в 433°C (от -252°C до $+180^{\circ}\text{C}$) является предельным тепловым полем.

Вывод 10. Биосфера в основных своих чертах представляет один и тот же химический аппарат с самых древних геологических периодов. Жизнь оставалась в течение геологического времени постоянной, менялась только ее форма. Само живое вещество не является случайным созданием.

Вывод 11. Повсеместное распространение жизни в биосфере. Жизнь постепенно, медленно приспособляясь, захватила биосферу и захват этот не закончился. Поле устойчивости жизни есть результат приспособленности в ходе времени.

Вывод 12. Постоянство количества живого вещества в биосфере. Количество свободного кислорода в атмосфере того же порядка, что и количество свободного живого вещества ($1,5 \times 10^{21}$ г и $10^{20} - 10^{21}$ г). Скорость передачи жизни не может перейти пределы, нарушающие свойства газов. Идет борьба за нужный газ.

Вывод 13. Всякая система достигает устойчивого равновесия, когда ее свободная энергия равняется или приближается к нулю, т. е. когда вся возможная в условиях системы работа произведена. Понятие устойчивого равновесия является исключительно важным. Мы к нему вернемся позже.

Основные понятия экологии

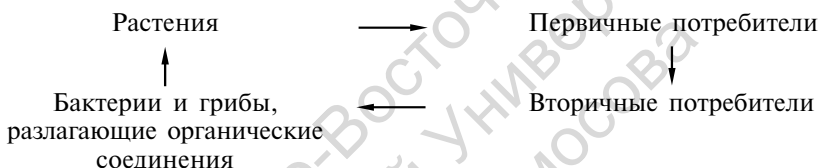
В буквальном смысле слово «экология» (от греч. *oikos* — жилище, местообитание) переводится как наука о «доме». Экология — наука о местообитании живых существ, их взаимоотношений с окружающей средой. Она изучает организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, сообществ, экосистем. Термин «экология» был предложен немецким зоологом Э. Геккелем в 1866 г., но подлинного расцвета эта наука достигла в XX в., и ее развитие далеко не закончено.

Если учение о биосфере исследует целостности высшего порядка, то экология изучает различные уровни целостности, промежуточные между организменным и глобальным. Выделяют *аутоэкологию*, которая исследует взаимодействие отдельных организмов и видов со средой, и *синэкологию*, которая изучает сообщества. Сообществом, или биоценозом, называют совокупность растений и животных, населяющих участок среды обитания. Совокупность сообщества и среды носит название экологической системы, или биогеоценоза.

Основные понятия экологии — «популяция», «местообитание», «экологическая ниша». **Популяцией** называется группа организмов, относящихся к одному или близким видам и занимающая определенную область, называемую **местообитанием**. Совокупность условий, необходимых для существования популяции, носит название **экологической ниши**. Экологическая ниша определяет положение вида в цепях питания.

В зависимости от характера питания строится пирамида питания, состоящая из нескольких **трофических уровней**. Низший уровень занимают автотрофные организмы, питающиеся неорганическими соединениями, прежде всего растения. На более высоком уровне располагаются гетеротрофные организмы, использующие в пищу биомассу растений. Затем идут гетеротрофы второго порядка, питающиеся гетеротрофами первого порядка, т.е. травоядными животными, и т.д.

Пирамида питания связана с круговоротом вещества в биосфере, который выглядит следующим образом:



Один из важнейших принципов экологии — *принцип устойчивости*. В соответствии с ним чем больше трофических уровней и чем они разнообразнее, тем более устойчива биосфера.

Экология показала также, что живой мир — не совокупность живых существ, а единая система, сцементированная множеством цепочек питания и иных взаимоотношений. Если даже небольшая часть живого мира погибнет, погибнет и все остальное. В то же время, как писал Н. Винер, «сообщество простирается лишь до того предела, до которого простирается действительная передача информации»¹.

К важным выводам экологии можно отнести следующие, отмечавшиеся еще В. И. Вернадским:

1) каждый организм может существовать только при условии постоянной тесной связи со средой, т.е. с другими организмами и неживой природой;

2) жизнь со всеми ее проявлениями произвела глубокие изменения на нашей планете. Совершенствуясь в процессе эволюции, живые организмы все шире распространялись на планете, стимулируя перераспределение энергии и веществ;

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 230.

3) размеры популяции возрастают до тех пор, пока среда может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается равновесие. Численность колеблется вблизи равновесного уровня.

Принцип равновесия играет в живой природе огромную роль. Равновесие существует между видами и смещение его в одну сторону, скажем, уничтожение хищников, может привести к исчезновению и их жертв, так как последним будет не хватать пищи. Естественное равновесие существует и между организмом и окружающей его неживой средой. Великое множество равновесий поддерживает общее равновесие в природе.

Равновесие в живой природе не статично, как равновесие кристалла, а динамично. Оно представляет собой движение вокруг точки устойчивости. Если эта точка не меняется, то такое состояние называется **гомеостазом** (от греч. *hómoios* — подобный, одинаковый и *stásis* — неподвижное состояние). Гомеостаз — механизм, посредством которого живой организм поддерживает параметры своей внутренней среды, противодействуя внешним воздействиям, на таком постоянном уровне, который обеспечивает нормальную жизнь. Кровяное давление, частота пульса, температура тела — все это обусловлено гомеостатическими механизмами, которые работают настолько хорошо, что мы обычно их не замечаем. В пределах «гомеостатического плато» действует отрицательная обратная связь, а за его пределами — положительная обратная связь, приводящая к гибели системы.

В экосистемах необходим период эволюционного приспособления к условиям среды, который называется **адаптацией**. Только после него устанавливается надежный гомеостатический контроль. Адаптация организма может быть структурной, физиологической и поведенческой. К *структурной адаптации* относятся изменение окраски, строения тела, органов и т.д. (например, бабочки под влиянием фабричного дыма из светлых становятся темными). К *физиологической адаптации* относится, скажем, появление слуховой камеры у летучих мышей, позволяющее иметь идеальный слух. Пример *поведенческой адаптации* демонстрирует мотылек с полосатыми крыльями, садящийся на полосатые листья лилий так, чтобы его полосы были параллельны полоскам на листьях.

Механизм, ответственный за эволюцию живой природы, получил название **гомеореза**. Он дает возможность как бы перескакивать с одного устойчивого состояния на другое через неравновесные точки («с кочки на кочку»), тем самым проявляя такую отличительную особенность живых тел, как способность поддерживать устойчиво неравновесное состояние. По определению Э. Шрёдингера, «жизнь — это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции

переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время»¹. Средством, при помощи которого организм поддерживает себя постоянно на достаточно высоком уровне упорядоченности (равно на достаточно низком уровне энтропии), является энергия, получаемая организмом из окружающей среды с продуктами питания.

**Закономерности
развития
экосистем**

Одним из основных достижений экологии стало обнаружение того обстоятельства, что развиваются не только организмы и виды, но и экосистемы.

Развитие экосистем — **сукцессия** — это последовательность сообществ, сменяющих друг друга в данном районе.

Сукцессия в энергетическом смысле связана с фундаментальным сдвигом потока энергии в сторону увеличения количества энергии, направленной на поддержание системы. Сукцессия состоит из стадий роста, стабилизации и климакса. Их можно различать на основе критерия продуктивности системы: на первой стадии продукция растет до максимума, на второй остается постоянной, на третьей уменьшается до нуля по мере разрушения систем.

Различия между растущими и зрелыми системами представлены в таблице 3.

Обратите внимание на обратную связь зависимости между энтропией и информацией, а также на то, что развитие экосистем идет в направлении повышения их устойчивости, достигаемой за счет увеличения разнообразия. Распространив этот вывод на всю биосферу, мы получаем ответ на вопрос, зачем природе нужны 2 млн видов. До возникновения экологии считалось, что эволюция ведет к замене одних менее сложных и приспособленных видов другими, вплоть до человека — венца природы. Менее сложные виды, дав дорогу более сложным, становятся ненужными. Экология разрушила этот удобный для человека миф. Теперь ясно, почему опасно уменьшать многообразие природы, как это делает современный человек.

К основным законам экологии относятся также:

- «закон минимума» Ю. Либиха — развитие ограничивают лишь те факторы, которые имеются в недостаточном количестве;
- «закон толерантности» — избыток какого-либо фактора (тепло, свет, вода) тоже может ограничивать распространение данного вида;
- принцип Олли — недонаселенность и перенаселенность могут оказывать лимитирующее влияние;

¹ Шрёдингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. — М., 1972. — С. 71.

Различия между растущими и зрелыми системами

Признак	Растущая экосистема	Зрелая экосистема
Продуктивность	Высокая	Низкая
Видовое разнообразие	Незначительно	Велико
Структурное разнообразие	Слабо организовано	Хорошо организовано
Специализация по нишам	Широкая	Узкая
Размеры организма	Небольшие	Крупные
Жизненные циклы	Короткие и простые	Длинные и сложные
Скорость обмена биогенными веществами между организмом и средой	Высокая	Низкая
Давление отбора	На быстрый рост	На регуляцию обратной связи
Внутренний симбиоз	Не развит	Развит
Сохранение биогенных веществ	С потерями	Практически без потерь
Стабильность	Низкая	Высокая
Энтропия	Высокая	Низкая
Информация	Незначительная	Обширная

– закон конкурентного исключения — два вида, занимающие одну нишу, не могут сосуществовать в одном месте неограниченно долго. Кроме того, существуют следующие закономерности:

- чем больше трофических уровней, тем больше потери энергии в системе;
- развитие экосистем во многом аналогично развитию отдельного организма;
- принцип гетеротрофной утилизации продуктов автотрофного метаболизма (это свойство экосистем сейчас под угрозой в связи с хозяйственной деятельностью человека, ведущей к накоплению отходов, которые природа не в состоянии утилизировать).

Закон минимума был сформулирован Ю.Либихом в 1840 г., ученый установил, что урожай зерна часто лимитируется не теми питательными веществами, которые требуются в больших количествах, а теми, которых нужно немного, но которых мало и в почве. Закон

Либиха гласил: «Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени». Впоследствии к питательным веществам добавился ряд других факторов, например, температура.

Действие данного закона ограничивают два принципа. Первый принцип заключается в том, что «закон минимума» строго применим только в условиях стационарного состояния. Более точная его формулировка такова: «При стационарном состоянии лимитирующим будет то вещество, доступные количества которого наиболее близки к необходимому минимуму». Второй принцип касается взаимодействия факторов. Высокая концентрация или доступность некоторого вещества могут изменять потребление минимального питательного вещества. Организм иногда заменяет одно дефицитное вещество другим, имеющимся в избытке.

«Закон толерантности» сформулирован в самой экологии и обобщает «закон минимума» следующим образом: «Отсутствие или невозможность развития экосистемы определяется не только недостатком, но также и избытком любого из факторов (тепло, свет, вода)». Следовательно, организмы характеризуются как экологическим минимумом, так и максимумом. Слишком много хорошего тоже плохо. Диапазон между двумя величинами составляет пределы толерантности, в которых организм нормально реагирует на влияние среды. Закон толерантности был предложен в 1913 г. В. Шелфордом. Этот закон дополняют следующие положения:

- организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного фактора и узкий в отношении другого;
- организмы с широким диапазоном толерантности ко всем факторам обычно наиболее широко распространены;
- если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то диапазон толерантности к другим экологическим факторам может сузиться;
- в природе организмы очень часто оказываются в условиях, не соответствующих оптимальному значению того или иного фактора, определенного в лаборатории;
- период размножения обычно является критическим, в это время многие факторы среды часто оказываются лимитирующими.

Живые организмы изменяют условия среды, чтобы ослабить *лимитирующее влияние физических факторов*. Виды с широким географическим распространением образуют адаптированные к местным условиям популяции, которые называются экотипами. Их оптимумы и пределы толерантности соответствуют местным условиям. В зависимости от того, закреплены ли экотипы генетически, можно говорить об образовании генетических рас или о простой физиологической акклимации.

В свете обобщающей концепции лимитирующих факторов наиболее важными факторами на суше являются свет, температура и вода (осадки), а в море — свет, температура и соленость. Эти физические условия существования могут быть лимитирующими и благоприятными. Все факторы среды зависят друг от друга и действуют согласованно.

Из других лимитирующих факторов можно отметить атмосферные газы (углекислый газ, кислород) и биогенные соли. Формулируя «закон минимума», Либих и имел в виду лимитирующее воздействие жизненно важных химических элементов — микроэлементов, присутствующих в среде в небольших и непостоянных количествах. К микроэлементам относятся железо, медь, цинк, бор, кремний, молибден, хлор, ванадий, кобальт, йод и натрий. Многие микроэлементы, подобно витаминам, действуют как катализаторы. Фосфор, калий, кальций, сера, магний, требующиеся организмам в сравнительно больших количествах, называются макроэлементами.

Важным лимитирующим фактором в современных условиях является загрязнение природной среды. Оно происходит в результате внесения в среду веществ, которых в ней либо не было (металлы, новые синтезированные химические вещества) и которые не разлагаются вовсе, либо которые существуют в биосфере (например, углекислый газ), но вносятся в чрезмерно больших количествах, не дающих возможности их переработать естественным способом. Образно говоря, загрязняющие вещества — это ресурсы, находящиеся не на своем месте. Загрязнение приводит к нежелательному изменению физических, химических и биологических характеристик среды, которое оказывает неблагоприятное влияние на экосистемы и человека. Цена загрязнения — здоровье людей. Загрязнение увеличивается как в результате роста населения и его потребностей, так и в результате использования новых технологий, обслуживающих эти потребности. Оно бывает химическим, тепловым и шумовым.

Главный лимитирующий фактор, по Ю. Одуму, — размеры и качество «ойкоса», или нашей «природной обители», а не просто «число калорий», которые можно выжать из земли. Ландшафт — это не только склад запасов, но и дом, в котором мы живем. «Следует стремиться к тому, чтобы сохранить по меньшей мере треть всей суши в качестве охраняемого открытого пространства. Это означает, что треть всей нашей среды обитания должны составлять национальные или местные парки, заповедники, зеленые зоны, участки дикой природы и т. п.»¹. Ограничение использования земли является аналогом природного регулирующего механизма, называемого «территориальным поведением». При помо-

¹ Одум Ю. Основы экологии. — М., 1975. — С. 541.

щи этого механизма многие виды животных избегают скученности и вызываемого ею стресса.

К лимитирующим факторам относится и численность популяции. Это обобщается в принципе Олли: «Степень агрегации (так же, как и общая плотность), при которой наблюдается оптимальный рост и выживание популяции, варьирует в зависимости от вида и условий, поэтому как “недонаселенность” (или отсутствие агрегации), так и перенаселенность могут оказывать лимитирующее влияние». Некоторые экологи считают, что принцип Олли приложим и к человеку. Если это так, то отсюда возникает потребность в определении максимальной величины городов, стремительно растущих в настоящее время.

Закон конкурентного исключения формулируется следующим образом: «Два вида, занимающие одну экологическую нишу, не могут сосуществовать в одном месте неограниченно долго». То, какой вид побеждает, зависит от внешних условий. В сходных условиях победить может каждый. Важным для победы обстоятельством является скорость роста популяции. Неспособность вида к биотической конкуренции ведет к его оттеснению и необходимости приспособления к более трудным условиям и факторам.

Первыми экосистемами, которые стали изучать с помощью количественных методов, были системы «хищник — жертва». Американец А. Лотка в 1925 г. и итальянец В. Вольтерра в 1926 г. создали математические модели роста отдельной популяции и динамики популяций, связанных отношениями конкуренции и хищничества. Исследование системы «хищник — жертва» показало, что для популяции жертв типичным способом эволюции является увеличение рождаемости, а для популяции хищников — совершенствование способов ловли жертвы.

К интересным результатам привело изучение системы «паразит — хозяин». Казалось бы, отбор должен вести к уменьшению вредности паразита для хозяина, но это не так. И в этой паре идет конкурентная борьба, в результате которой усложняются и те, и другие. Гибель одного ведет к гибели другого, а сосуществование увеличивает сложность всей системы.

На изучении эволюции системы «паразит — жертва» основана гипотеза, объясняющая значение полового диморфизма. Бесполое размножение, с точки зрения теории Ч. Дарвина, — значительно более эффективный процесс. Двойная стоимость полового размножения (учитывая, что мужские особи не включаются в создание и выращивание потомства так, как женские) вызывала трудности в объяснении этого феномена. Системное изучение биологических процессов предлагает следующее объяснение: половые различия дают хозяевам уникальные преимущества, поскольку позволяют обмениваться частями генетического кода между особями. Rekom-

бинация больших блоков генетической информации в результате полового размножения позволяет изменять признаки в потомстве быстрее, чем при мутациях. Поэтому потомки в этом случае могут быть более резистентными к паразитам, чем их родители. Паразиты же вследствие краткости периода воспроизводства и быстрого хода эволюционных изменений меньше нуждаются в наличии полов и обычно бесполо. И здесь конкурентная борьба является фактором естественного отбора.

В науке Нового времени преобладал редуccionизм, т. е. объяснение функционирования высших структурных уровней с помощью низших. Развитие биологии в XX в. как будто укрепило позиции редуccionизма. Молекулярная биология выяснила, что все многообразие форм жизни и жизненных процессов, повадок и инстинктов зависит от особенностей чередования четырех нуклеотидов в цепочке ДНК.

С другой стороны, экология показала наличие системных закономерностей. «Вся совокупность современных биохимических данных показывает, что отдельные, индивидуальные реакции, протекающие в живых телах, сравнительно просты и однообразны. Это хорошо известные и легко воспроизводимые в пробирке и колбе химика реакции окисления, восстановления, гидролиза... Ни в одной из них нет ничего специфически жизненного. Специфическим для живых тел является то, что в них эти отдельные реакции определенным образом организованы во времени, сочетаются в единую целостную систему наподобие того, как отдельные звуки сочетаются в какое-либо музыкальное произведение, например симфонию. Стоит только нарушить последовательность звуков — получится дисгармония, хаос. Аналогичным образом и для организации живых тел важно то, что в них эти отдельные реакции протекают не случайно, не хаотически, а в строго определенном гармоничном порядке... весь этот порядок закономерно обуславливает самосохранение и самовоспроизведение всей жизненной системы в целом в данных условиях внешней среды, в поражающем соответствии с этими условиями»¹.

Необходимость системного подхода в исследовании живого в противоположность редуccionизму вложена в уста Мефистофеля из «Фауста» Гёте:

Иль вот: живой предмет желая изучить,
Чтоб ясное о нем познание получить, —
Ученый прежде душу изгоняет,
Затем предмет на части расчлняет
И видит их, да жаль: духовная их связь
Тем временем исчезла, унеслась!

¹ Опарин И. А., Фесенков В. Г. Жизнь во Вселенной. — М., 1956. — С. 40.

Концепция коэволюции

Критика дарвинизма велась со дня его возникновения. Ряду ученых не нравилось, что изменения, по Ч. Дарвину, могут идти во всех возможных направлениях и случайным образом. Концепция номогенеза утверждала, что изменения происходят не беспорядочно и случайно, а по законам форм. Русский ученый и революционер П. А. Кропоткин придерживался точки зрения, в соответствии с которой взаимопомощь является более важным фактором эволюции, чем борьба.

Эти возражения не могли поколебать общей теории эволюции. Появившаяся под влиянием экологических исследований концепция коэволюции помогла объяснить возникновение полов и другие феномены. Как химическая эволюция — результат взаимодействия химических элементов, так, по аналогии, и биологическая эволюция — результат взаимодействия организмов. Случайно образовавшиеся более сложные формы увеличивают разнообразие и, стало быть, устойчивость экосистем. Удивительная согласованность всех видов жизни есть следствие коэволюции.

Концепция коэволюции хорошо объясняет эволюцию в системе «хищник — жертва» — постоянное совершенствование и того, и другого компонента системы. В системе «паразит — хозяин» естественный отбор должен вроде бы способствовать выживанию менее вирулентных (опасных для хозяина) паразитов и более резистентных (устойчивых к паразитам) хозяев. Постепенно паразит становится комменсалом, т. е. безопасным для хозяина, а затем они могут стать мутуалами — организмами, которые способствуют взаимному процветанию, как грибы и фотосинтезирующие бактерии, вместе образующие лишайники. Но так происходит не всегда. Паразиты являются неизбежной, обязательной частью каждой экосистемы. Они препятствуют уничтожению хозяевами других видов. Коэволюционная «гонка вооружений» способствует большому разнообразию экосистем.

Совместная эволюция организмов хорошо видна на следующем примере. Простейшие жгутиковые, живущие в кишечнике термитов, выделяют фермент, без которого термиты не могли бы переваривать древесину и расщеплять ее до сахаров. Встречая в природе симбиоз, можно предполагать, что его конечной стадией является образование более сложного организма. Травоядные животные могли развиваться из симбиоза животных и микроскопических паразитов растений. Паразит производит ферменты для переваривания веществ, имевшихся в организме его хозяина — растения, животное же делится с паразитом питательными веществами из растительной массы.

Концепция коэволюции объясняет и факты альтруизма у животных: заботу о детях, устранение агрессивности путем демонст-

рации «умиротворяющих поз», повиновение вожакам, взаимопомощь в трудных ситуациях и т. п.

Вопросы для повторения

1. В чем сходство и различие растений и животных?
2. Каковы основные выводы учения В. И. Вернадского о биосфере?
3. Что изучает экология?
4. Что такое сукцессия?
5. Каковы сравнительные характеристики развивающейся и зрелой экосистем?
6. Каковы основные закономерности, сформулированные в экологии?
7. Какие выводы получены в результате изучения систем «хищник — жертва» и «паразит — хозяин»?
8. Каково экологическое значение науки?
9. Что такое концепция коэволюции?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Почему именно русский ученый создал учение о биосфере?
2. Как В. И. Вернадский понимал биосферу и почему он изменил это понятие?
3. Как учение о биосфере продолжило учение о почве?
4. Что такое популяция, сообщество, экосистема, экологическая ниша, сукцессия?
5. Каковы законы экологии?
6. Каковы закономерности развития экосистем?
7. Как формулируется основной закон экологии?
8. Зачем на Земле необходимо существование столь большого количества видов жизни?
9. В чем суть концепции коэволюции и как она возникла?
10. Как концепция коэволюции примирила взгляды Ч. Дарвина и П. А. Кропоткина?
11. Как происходила эволюция с точки зрения концепции коэволюции?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Земная оболочка биосферы, обнимающая весь земной шар, имеет резко обособленные размеры; в значительной мере она обуславливается существованием в ней живого вещества — им *заселена*. Между ее косной безжизненной частью, ее косными природными телами и живыми веществами, ее населяющими, идет непрерывный материальный и энергетический обмен, материально выражающийся в движении атомов, вызванном живым веществом. Этот обмен в ходе времени выражается закономерно меняющимся, непрерывно стремящимся к устойчивости *равновесием*. Оно пронизывает всю биосферу, и этот *биогенный ток атомов* в значительной степени ее создает. Так неотделимо и неразрывно

биосфера на всем протяжении геологического времени связана с живым заселяющим ее веществом. В этом биогенном токе атомов и связанной с ним энергии проявляется резко планетное, космическое значение живого вещества. Ибо биосфера является той единственной земной оболочкой, в которую непрерывно проникают космическая энергия, космические излучения и прежде всего лучеиспускание Солнца, поддерживающее динамическое равновесие, организованность: биосфера ↔ живое вещество» (В. И. Вернадский).

Литература

Вернадский В. И. Биосфера // Избр. соч. — М., 1960. — Т. 5.

Одум Ю. Экология. — М., 1975.

Реймерс Н. Ф. Экология. — М., 1994.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ЭТОЛОГИЯ И СОЦИОБИОЛОГИЯ

**Раздражимость
и нервная
система**

Всеобщим свойством живых тел, определяющим их активную реакцию на воздействие окружающей среды, является **раздражимость**. У многоклеточных животных вся

сенсорная информация воспринимается видоизмененными нервными клетками — *рецепторами*. Воспринимаемая рецепторами информация передается эффекторным клеткам и вызывает в них реакцию, определенным образом связанную со стимулом. Любое раздражение (механическое, световое и т. п.), воспринимаемое рецептором, преобразуется в процесс возбуждения.

Типы рецепторов и воспринимаемые ими стимулы представлены в таблице 4¹.

На более высоких стадиях эволюции потребность в улучшении обратной связи между организмом и средой способствует развитию специализированных систем клеток и приводит к образованию *органов чувств*. Это наиболее сложные рецепторы. Они состоят из большого числа чувствительных клеток, которые тонкими нервными волокнами связаны с центральной нервной системой. Например, глаз похож на фотокамеру с диафрагмой. Он состоит из 130 млн клеток, которые создают как бы «мозаику».

Таблица 4

Типы рецепторов и воспринимаемые ими стимулы

Тип рецептора	Энергетическая природа стимула	Тип стимула
Фоторецепторы	Электромагнитная	Свет
Электрорецепторы	Электромагнитная	Электричество
Механорецепторы	Механическая	Звук, прикосновение, давление, гравитация
Терморецепторы	Тепловая	Изменение температуры
Хеморецепторы	Химическая	Влажность, запах, вкус

¹ См.: Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3 т. — М., 1990. — Т. 2.

Основное назначение органа зрения — восприятие света. Лучи, падающие на светочувствительный экран сетчатки, вызывают в ее клетках фотохимическую реакцию, в результате которой световая энергия превращается в нервное возбуждение. Оно в виде импульсов передается в зрительные центры головного мозга, поэтому правильнее говорить, что видит мозг, а не глаз.

Система передачи возбуждений от органов чувств к мозгу называется **нервной системой**. Она состоит из нейронов, или нервных клеток. «Хотя под влиянием электрических токов они обнаруживают довольно сложные свойства, обычное их физиологическое действие очень близко к принципу “все или ничего”, т.е. они либо находятся в покое, либо, будучи возбуждены, проходят через ряд изменений, природа и интенсивность которых почти не зависят от раздражителя. Сначала наступает активная фаза, передаваемая от данного конца нейрона до другого с определенной скоростью; затем следует рефракторный период, когда нейрон не способен приходить в возбуждение, по крайней мере, под действием нормального физиологического процесса. По окончании этого эффективного рефракторного периода нерв остается бездеятельным, но может быть снова приведен в возбуждение... За исключением тех нейронов, к которым сообщения поступают от свободных нервных окончаний или чувствительных концевых органов, каждый нейрон получает сообщения от других нейронов через точки контакта, называемые *синапсами*. Число синапсов у отдельных нейронов может изменяться от нескольких единиц до нескольких сотен»¹.

В основе деятельности нервной системы лежит восприятие сенсорной информации, передача электрохимическим путем возбуждения, его обработка и соответствующее реагирование на воздействие. Все нейроны делятся на афферентные (сенсорные), приводящие импульсы от рецептора, и эфферентные (двигательные), передающие импульсы к эффектору. В состав последнего входят возбуждающие и тормозные нейроны, которые заставляют действовать или тормозят действие. Характер ответа, его величина и продолжительность находятся в прямой зависимости от природы стимула.

Нервные сигналы передаются в виде электрических импульсов. Нейроны называются возбудимыми клетками, так как на их мембране электрический потенциал меняется. Пока клетка находится в неактивном состоянии, ее потенциал покоя остается постоянным. Потенциал покоя имеет физико-химическую природу и обусловлен разностью ионных концентраций по обе стороны мембраны аксона — отростка нервной клетки — и избирательной проницаемостью мембран для ионов. При возникновении потенциала

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 187.

действия проницаемость мембраны аксона повышается, и в него входят ионы.

Рассмотрим механизм адаптации сенсорных нейронов. При длительном воздействии сильного раздражителя большинство рецепторов вначале возбуждают в сенсорном нейроне импульсы с большой частотой. Постепенно частоты этих импульсов снижаются. Значение адаптации сенсорных клеток состоит в том, что она позволяет получить информацию об изменениях в окружающей среде. Когда этих изменений нет, клетки находятся в покое, что предотвращает перегрузку центральной нервной системы ненужной информацией.

Интересно проследить сходства и различия между ЭВМ и нервной системой.

Сходства

1. Работа по принципу «все или ничего» на основе электрических потенциалов.
2. Переработка энергии в информацию (ЭВМ потребляет гораздо больше энергии).
3. Способность к обучению.

Различия

1. В мозгу, в отличие от ЭВМ, ничего не стирается.
2. Организмы состоят из больших белковых молекул, а машины — из малых небелковых молекул.
3. Живые системы более эффективны и приспособляемы.
4. Живые механизмы, как правило, имеют значительно меньшие размеры, чем изготавливаемые человеком для аналогичных целей.
5. Машины могут производить и передавать в больших количествах электричество (электрические машины), генерировать короткие волны (радио), а живые организмы не могут.

На основании этого сопоставления можно сделать вывод, что мозг аналогичен управляющему вычислительному устройству, которое можно использовать как его модель.

Дисциплина, изучающая нервную систему живых организмов, получила название *нейрофизиологии*. Она является переходной между физиологией и психологией. Нейрофизиология изучает процессы передачи информации в нервной системе и строение мозга. Предметом ее исследования служат связи между физиологическими и психическими процессами. «Известно, что повышение температуры почти до физиологических границ облегчает выполнение большей части, если не всех, нейронных процессов», — подчеркивает эту связь Н. Винер¹.

¹Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 111.

Мозг состоит из серого и белого вещества. Серое вещество — нейроны, белое — нервные волокна, т.е. части аксонов (длинных отростков нейронов). Так как способность к научению у млекопитающих пропорциональна величине *больших полушарий*, очевидно, что именно они служат местом образования и хранения памяти.

Левое полушарие ведаёт регуляцией речи, письма, логического мышления, а правое участвует в распознавании и анализе зрительных, музыкальных образов, формы и структуры предметов, в сознательной ориентации в пространстве.

У большинства людей (правшей) лучше развито левое полушарие. Главная функция *мозжечка* — регулирование нервных механизмов обратной связи, участвующих в целенаправленной двигательной активности.

Изучение памяти, т.е. способности хранить и извлекать информацию о прошлом опыте, — важная задача нейрофизиологии. Хороший способ смоделировать кратковременную память — это заставить последовательность импульсов циркулировать по замкнутой цепи. «Можно думать, что образование следов памяти связано с действием биохимического механизма, включающего синтез в мозгу определенных веществ. Экстракты из центральной нервной ткани обученных плоских червей или крыс при введении необученным червям или крысам соответственно сокращали время, необходимое для усвоения тех же задач»¹.

«Информация, — пишет Н. Винер, — сохраняется в мозгу долгое время благодаря изменению порогов нейронов или, другими словами, благодаря изменению проницаемости каждого синапса для сообщений. Эти пороги повышаются и самый процесс обучения и запоминания истощает наши способности, пока жизнь не расточит основной канал жизнеспособности»². Это дало основания Н.Винеру сделать вывод, что сама жизнь индивидуума соответствует выполнению одной программы, после чего она «стирается».

Нарушения в деятельности нервной системы могут быть связаны с ее перегрузкой «вследствие избытка передаваемых сообщений, физической потери каналов связи или чрезмерного занятия каналов такой нежелательной нагрузкой, как циркулирующие записи памяти, усиливающиеся до превращения в навязчивые идеи»³. Применение в психиатрии электрического тока, инсулина и других психотерапевтических средств основано на их способности разрушать механизмы памяти.

¹ Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3 т. — М., 1990. — С. 311. — Т. 2.

² Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 192.

³ Там же. — С. 222.

Помимо нервной системы деятельность организма координирует *эндокринная система*. Она передает сигналы с помощью веществ, переносимых кровью, и реагирует образованием какого-либо вещества, например слез при попадании в глаз частичек пыли. Эти вещества выделяются так называемыми *железами*. Эндокринные железы секретируют гормоны — специальные химические соединения, которые поступают в кровяное русло и доставляются к удаленным органам, тканям или группам клеток, где проявляют свое регулирующее действие. Различия между нервной и эндокринной регуляцией (по Н. Грину, У. Стауту, Д. Тейлору) представлены ниже.

Нервная регуляция

Информация передается по аксонам в виде электрических импульсов (химическая передача в синапсах)

Передача быстрая

Ответ наступает тотчас

Ответ кратковременный

Ответ четко локализован

Эндокринная регуляция

Информация передается химическими веществами через кровеносное русло

Передача медленная

Ответ обычно развивается медленно

Ответ продолжительный

Ответ обычно генерализованный

Типы поведения

На стадии раздражимости мы имеем дело с реагированием организма на воздействие внешней среды самым простым образом. С появлением органов чувств и нервной системы поведение становится более сложным и активным. Оно не сводится к механическому движению, а определяется мышечными сокращениями и сигналами из центральной нервной системы, которые зависят от деятельности органов чувств. Как и его простая форма — движение, — поведение является способом адаптации организма к воздействиям окружающей среды.

Поведение — эволюционный механизм. В тех случаях, когда животные сталкиваются с быстротечными изменениями в окружающей среде, морфологические приспособления не могут обеспечить выживания, так как изменения в строении тела совершаются слишком медленно. В этих ситуациях животных спасают только изменения в поведении.

С одной стороны, двух видов животных, которые вели бы себя одинаково, не существует. С другой стороны, у животных одного вида много разных типов поведения.

Живые организмы столь же разнообразны по своему поведению, как и по богатству размеров, форм и красок. В этом проявляется принцип единства строения и поведения.



Рис. 4. Типы поведения

Используя метод проб и ошибок, животные останавливаются в конце концов на том типе поведения, который наиболее соответствует строению их тела. Типы поведения представлены на рисунке 4.

Великое множество форм поведения определяется генетическими факторами и в такой же степени зависит от генетической неоднородности видов и популяций, как и многообразие телесных форм. Более того, очень вероятно, что и различия в поведении представителей одной популяции также наследственно предопределены, по крайней мере, частично. Эксперименты показывают, что естественный отбор влияет на поведение, а поведение — на генотип. Поведение оказывает воздействие на групповой состав популяции и тем самым на судьбу возникающих в ней

генотипических изменений. Таким образом, возможна поведенческая селекция сельскохозяйственных животных.

Поведение конкретного организма определяется внутренним и внешним программированием. Внешнее программирование осуществляется благодаря индивидуальному приспособлению животного к окружающей среде в ходе накопления опыта. Внутреннее программирование есть результат постепенной эволюции вида.

Рефлексы и бихевиоризм

Простейшей реакцией нервной системы является рефлекс. Он представляет собой быструю, автоматическую, стереотипную реакцию на раздражение, не находящуюся под контролем сознания. Нейроны, образующие путь нервных импульсов при рефлекторном акте, составляют так называемую рефлекторную дугу, имеющую следующий вид:

стимул → рецептор → нейронная сеть → эффектор → реакция.

В начале XX в. выдающийся русский ученый, продолжатель русской школы рефлексологии И. П. Павлов (1849—1936) создал учение о нервной деятельности, дав научное объяснение работы коры больших полушарий головного мозга. Проводя опыты над собаками, он пришел к выводу, что научение происходит путем формирования у животных условных рефлексов в дополнение к безусловным.

Условные рефлексы представляют собой тип рефлекторной активности, при которой характер ответа зависит от прошлого опыта.

В опытах И. П. Павлова кормление собак сочеталось, например, со звонком. После многократного повторения эксперимента уже при подаче звукового сигнала у собак начиналось слюноотделение. Это свидетельствовало об образовании условного рефлекса. Подобные опыты были продолжены в других странах.

Наиболее значительные успехи в этом направлении достигнуты американским исследователем Б. Скиннером. Они положили начало концепции бихевиоризма (от англ. *behaviour* — поведение). Б. Скиннер приучал животных (голубей, крыс) совершать необычные для них действия, которые немедленно вознаграждались. Вслед за И. П. Павловым Б. Скиннер подтвердил большие возможности изменения психики животных под влиянием внешних воздействий.

Следует отметить, что данные эксперименты проводились в условиях неволи, неестественных для животных. Результатом исследований было то, что все механизмы психики (от низших до высших форм) объявлялись рефлекторными и контролируемые, и таким образом животные низводились до уровня автоматов (напомним, что еще Р. Декарт считал животных живыми автоматами). Бихевиоризм, по существу, отрицал самостоятельное

значение психики и сводил деятельность центральной нервной системы к управляемому извне образованию условных рефлексов.

Н. Винер сравнил бихевиористский подход с кибернетическим: «Бихевиористский метод состоит в рассмотрении выхода объекта и отношений между выходом и входом. Под выходом понимается любое изменение, производимое объектом в окружении. Обратно, под входом понимается любое внешнее к объекту событие, изменяющее любым образом этот объект»¹. Неслучайно и У. Р. Эшби начал свою книгу «Введение в кибернетику» с анализа работ И. П. Павлова.

Инстинкт и научение

В начале 30-х гг. XX в. усилиями австрийского зоолога К. Лоренца (1903 — 1989) и других ученых были заложены основы науки о поведении животных, которая получила название *этологии* (от греческого *ēthos* — нрав, характер; тот же корень в слове «этика», обозначающем науку о поведении человека).

Этология изучает животных преимущественно в свободных условиях, что значительно расширяет представление об их поведении. С точки зрения этологии поведение животных зависит от стимула (ключевых раздражителей) и от внутренних процессов и агентов (в частности, гормонов, выделяемых в кровь и тканевую жидкость железами внутренней секреции), которые влияют на рост и т. п.

Животные рождаются на свет со значительной частью приспособительных форм поведения, которые носят название *инстинктов*. К. Лоренц писал, что инстинктивные, унаследованные движения развиваются подобно органам тела и не требуют специальной практики. Врожденный реализующий механизм обеспечивает врожденные инстинктивные движения. Инстинкты специфичны для каждого вида и отличаются от простых рефлексов степенью сложности. Это единицы поведения, определяемые генотипом.

Гипотеза механизма инстинктивного поведения такова. Под действием внешних и внутренних факторов в соответствующих нервных центрах происходит накопление «энергии действия», специфичной для определенного побуждения (голод и т. п.). Достижение его определенного уровня приводит к появлению поисковой фазы, состоящей в активном поиске раздражителей, при помощи которых могло бы быть удовлетворено побуждение. При усиленном накоплении «энергии действия» завершающий акт может осуществиться без ключевых раздражителей.

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 285.

Инстинкты — результат воздействия внешнего мира на организм. Они могут совершенствоваться тем же путем, каким возникают и закрепляются за видом новые морфологические признаки.

Можно выделить следующие особенности поведения животных.

1. Наличие обратной связи в механизме поведения предохраняет животных от излишних действий (если желудок полон, животное не будет есть). Внешние воздействия выбираются животным в зависимости от его внутреннего состояния.

2. Улучшение одних аспектов поведения влечет за собой вредные последствия в других, так что идеал недостижим. Так и должно быть, чтобы разнообразие увеличивало устойчивость биосферы.

3. «В природе существует не только целесообразное для сохранения видов, но и все не настолько нецелесообразное, чтобы повредить существованию вида»¹.

4. Животное обладает примитивными формами предвидения.

5. Поведение целостно и все инстинкты соединены в «Парламент Инстинктов», устанавливающий определенную координацию.

Питанию, росту, размножению и самосохранению соответствуют четыре рода инстинктов: голода, половой, агрессии и страха. Агрессия, по мнению К. Лоренца, является подлинным первичным инстинктом, направленным на сохранение вида. Она проявляется прежде всего в конкуренции внутри вида. Наиболее приспособленные особи могут захватывать большую территорию, приносить большее потомство и передавать свои гены следующему поколению. Смысл внутривидовой борьбы, по К. Лоренцу, во-первых, заключается в том, что «для вида... всегда выгодно, чтобы область обитания или самку завоевал сильнейший из двух соперников»². Во-вторых, «в выгоды равномерности распределения состоит важная видосохраняющая функция внутривидовой агрессии»³. В-третьих, в защите потомства. «Защита семьи, т. е. форма столкновения с *вневидовым* окружением вызвала появление поединка, а уже поединок отобрал вооруженных самцов»⁴.

Каждый организм имеет собственную территорию, которую он охраняет от посторонних, особенно от тех, кто занимает ту же экологическую нишу. Граница участков «определяется исключительно равновесием сил, и при малейшем нарушении этого равновесия может перемещаться ближе к штаб-квартире ослабевшего, хотя бы, например, в том случае, если одна из рыб наелась и

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 159.

² Там же. — С. 37.

³ Там же. — С. 38.

⁴ Там же. — С. 47.

потому обленилась... С приближением к центру области обитания агрессивность возрастает в геометрической прогрессии»¹.

Опасность инстинкта — в его спонтанности. При недостатке врагов *порог раздражения* смещается и животное готово проявить свою агрессивность по отношению к кому угодно. Другими словами, инстинкт начинает действовать без соответствующей мотивации.

Полезный, необходимый инстинкт «остается неизменным; но для особых случаев, где его проявление было бы вредно, вводится специально созданный механизм торможения»². Примером могут служить бои самцов, которые возникают в ходе борьбы без правил за счет ритуализации (мимического утрирования, ритмического повторения и т. п.), увеличения промежутка времени перед началом боя, торможения опасных движений при атаке.

Существует зависимость между действенностью оружия, которым располагает вид, и механизмом торможения, запрещающим применять это оружие против сородичей (наиболее кровожадные звери — волки — обладают самыми надежными тормозами). «Угрозы, выражаемые двумя особями в агонистической конфликтной ситуации, всегда заканчиваются тем, что одна из особей (как правило, более слабая) уступает и выходит из поединка, принимая позу подчинения или умиротворения. У собак и волков умиротворяющая поза выражается в том, что животное ложится на спину или подставляет победителю свое горло»³.

Механизмы торможения включают в себя позы покорности, напоминающие детское поведение и поведение самки при спаривании. По К. Лоренцу, «у этих животных специальные механизмы торможения запрещали нападение на детей или, соответственно, на самок еще до того, как такие выразительные движения приобрели общий социальный смысл. Но если так — можно предположить, что именно через них из пары и семьи развилась более крупная социальная группа»⁴.

Отбор, направленный одной лишь конкуренцией сородичей без связи с вневидовым окружением, может быть нецелесообразным для вида. Поединок «служит полезному отбору лишь там, где бойцы проверяются не только внутривидовыми дуэльными правилами, но и схватками с внешним врагом»⁵. Важнейшая функция поединка — это выбор боевого защитника семьи, и таким образом внутривидовая агрессия способствует охране потомства.

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 43—44.

² Там же. — С. 114—115.

³ Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. — в 3 т. — Т. 2. — М., 1990. — С. 308.

⁴ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 140.

⁵ Там же. — С. 50.

Ритуализация поведения выполняет функцию перевода агрессии в безопасное для животных русло и построения прочного союза двух или большего числа собратьев по виду. Ритуалы возникают из так называемых *переориентированных действий*, когда «действие вызывается каким-то одним объектом, но на этот объект испускаются и тормозящие стимулы, — и потому оно направляется на другой объект, как будто он и был причиной данного действия»¹ и из *смещенной активности*, возникающей в тех случаях, когда при наличии сильной мотивации два разных стимула действуют в противоположных направлениях. Так, в переориентированной церемонии умиротворения или приветствия соединяются две позы — агрессии и страха.

Образование подобных ритуалов облегчается тем, что все инстинкты связаны между собой. Чем более агрессивен вид, тем больше у него развит половой инстинкт, напряженность которого может привести к росту агрессивности. Сильный страх по принципу «противоположности сходятся» также ведет к агрессии.

Взаимодействие инстинктов между собой зависит от пола животного. Если самка испытывает чувство страха, то это повышает ее сексуальность, а если чувство агрессивности — ее сексуальность понижается. У самца, напротив, чувство страха отрицательно влияет на сексуальность, а чувство агрессивности — положительно.

Различные виды сигналов, имеющие большое значение в жизни животных, формируются из первичных движений, определяемых инстинктами. Эти естественные движения, ставшие четкими и внятыми (преувеличенные жесты), становятся своеобразным «языком» животных. В роли сигналов могут выступать и социальные гормоны — особые вещества, привлекающие особей того же вида. «Мускус, цибет, бобровая струя и другие сексуально возбуждающие вещества можно рассматривать как общественные, внешние гормоны, необходимые (особенно у животных, ведущих одинокую жизнь) для соединения полов в соответствующие периоды и служащие для продолжения рода... Длинные скрученные кольца атомов углерода, обнаруженные в мусконе и цибетоне, не требуют большой перестройки, чтобы превратиться в группы сросшихся колец, характерные для половых гормонов»².

Ни одну поведенческую реакцию нельзя рассматривать как только инстинктивную или приобретенную. «Поведение большинства животных достаточно хорошо запрограммировано от рождения, а с другой стороны, часто необходимы «уточняющие инструкции» из внешнего мира»³. Целостный поведенческий акт —

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 173.

² Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 228—229.

³ Тинберген Н. Социальное поведение животных. — М., 1991. — С. 136.

переплетение врожденных и приобретенных комплексов. Условия жизни могут значительно изменять инстинктивную форму поведения.

Врожденные способности совершенствуются в результате научения. Однако и сама готовность к научению предопределена — «быстрее и лучше научить птицу той песне, которая предопределена внутренней программой»¹.

Теоретические работы К. Лоренца 1931 — 1937 гг. показали, что многократное повторение одной и той же ситуации приводит к образованию определенной связи в психике. Научение — это адаптивное изменение индивидуального поведения в результате усвоения предшествующего опыта. Устойчивость вновь приобретенных форм поведения зависит от памяти, хранящей полученную в прошлом информацию.

Закрепленное приобретенное поведение превращается в привычку. «Значительная часть привычек, определяемых хорошими манерами, представляет собой ритуализованное в культуре утирование жестов покорности, большинство из которых, вероятно, восходит к филогенетически ритуализованному поведению, имевшему тот же смысл»².

Появление психики — новый фактор адаптивной эволюции, возникающий у позвоночных животных. Это позволяет быстро менять привычки и навыки, что обеспечивает эволюционные преимущества млекопитающим. «Ограничения внутренней организации, особенно организации центральной нервной системы, определяют сложность предсказывающего поведения, которую может достичь млекопитающее»³. «Индивидуальные различия между живыми существами прямо пропорциональны их психическому развитию»⁴, — считал К. Лоренц.

При одном из видов обучения — запечатлении — раздражитель эффективен в том случае, если он предъявляется животному в раннем возрасте.

Нашим ближайшим родственникам — обезьянам — свойственно манипулирование «бесполезными» предметами, что могло привести к развитию больших полушарий головного мозга. Велика роль манипуляционной активности в индивидуальном развитии обезьяны, в ознакомлении с окружающим миром и накоплении опыта, во внутривидовом общении. Мимика, выразительные телодвижения, позы, по мнению Б. Ф. Поршнева, способствуют имитационному воздействию на другие виды и таким образом эволюционно удобны.

Основные виды научения (по Торпу) представлены в таблице 5.

¹ Тинберген Н. Социальное поведение животных. — М., 1991. — С. 141.

² Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 87.

³ Там же. — С. 290.

⁴ Там же. — С. 161.

Основные виды научения

Тип научения	Характеристика поведения
Привыкание	При продолжительном повторении стимулов, не подкрепляемых поощрением или наказанием, реакция на них постепенно угасает (птицы перестают бояться пугала)
Ассоциативное научение:	
– выработка условного рефлекса	Животное научается связывать безусловный стимул с условным и давать ответ на любой из них
– научение путем проб и ошибок	Сочетание данного действия с наградой (положительное подкрепление) или наказанием (отрицательное подкрепление) соответственно повышает или уменьшает вероятность повторения этого действия в дальнейшем (опыты Б. Скиннера)
– латентное научение	Научение, которое может пригодиться в дальнейшем (знание мышью непосредственного окружения своей норки)
– инсайт («постижение»)	Научение, основанное на информации, полученной ранее при других в чем-то сходных обстоятельствах. Инсайт возможен лишь при достаточном развитии интеллектуальных функций (опыты В. Кёлера с шимпанзе)
– запечатление	Проявляется во время раннего периода развития животного. В мозгу детеныша (или птенца) запечатлевается образ другого индивидуума, обычно родителя, и создается особая «привязанность» к нему (опыты К. Лоренца)

В процессе эволюции возрастает роль опыта старых животных и передачи приобретенной ими информации. Отсюда следуют выводы:

- долгая жизнь имеет ценность для сохранения вида;
- в процессе эволюции возникает селективное давление в сторону развития способности к обучению;
- между способностью к обучению и продолжительностью забот о потомстве существует тесная связь;
- возраст животного находится, как правило, в прямой зависимости от ранга, который оно имеет в иерархии своего сообщества.

Социальное поведение животных — не случайность, а эволюционный механизм. Его возникновение определяется преимуществами, которые обеспечивает общественная жизнь. Так, повадка птиц гнездиться тесными колониями уменьшает потери от хищников. Толпы «жертв» могут не только успешно противостоять, но даже нападать на хищников. Эволюционно сформировавшаяся потребность в другом может пересилить все инстинкты, т. е. стать высшей целью и ценностью. Социальные группы по величине могут колебаться от 2 особей у птиц до 10—100 особей — у обезьян, и до нескольких тысяч — у насекомых.

Простейшей формой сообщества являются *анонимные стаи*, все члены которых находятся в одинаковом положении. Множество особей, тесно сомкнувшись, движутся в одном направлении за случайно выбранным вожаком. «Притягивающее действие, которое оказывает стая на отдельных животных и небольшие их группы, возрастает с размером стаи, причем вероятно даже в геометрической прогрессии»¹.

Таковы стаи рыб, у которых группообразование, основанное на персональном узнавании партнеров, впервые встречается только у высших костистых видов. «Существуют животные, — отмечает К. Лоренц, — которые полностью лишены внутривидовой агрессии и всю жизнь держатся в прочно связанных стаях. Можно было бы думать, что этим созданиям предначертано развитие постоянной дружбы и братского единения отдельных особей; но как раз у таких мирных стадных животных ничего подобного не бывает никогда, их объединение всегда совершенно анонимно. Личные узы, персональную дружбу мы находим только у животных с высоко развитой внутривидовой агрессией, причем эти узы тем прочнее, чем агрессивнее соответствующий вид... Общеизвестно, что волк — самое агрессивное животное из всех млекопитающих... он же — самый верный из всех друзей. Если животное в зависимости от времени года попеременно становится то территориальным и агрессивным, то неагрессивным и общительным, любая возможная для него персональная связь ограничена периодом агрессивности»². Эволюционный механизм, заключающийся в необходимости совместной деятельности ради сохранения вида (забота о потомстве и т. п.), вырастает на внутривидовой агрессии и является как бы ее сублимацией. Внутривидовая агрессивность на миллионы лет старше личной дружбы и любви (личные узы появляются только у костистых рыб с позднего мезозоя).

Следующей формой сообщества являются *безличные семьи*, основанные на совместной жизни родителей и их потомства (на-

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 150.

² Там же. — С. 214.

пример, у аистов). Замена одного члена семьи на другого происходит в безличной семье незамеченной, так как индивидуальное распознавание отсутствует.

Наряду с безличными семьями существуют *личные семьи* (например, у диких гусей). «Как ослабление агрессивного отталкивания, так и усиление дружественного притяжения, — пишет К. Лоренц, — зависит от степени знакомства соответствующих существ... Избирательное привыкание ко всем стимулам, исходящим от персонально знакомого сородича, очевидно, является предпосылкой возникновения любых личных связей и, пожалуй, их предвестником в эволюционном развитии социального поведения. Простое знакомство с сородичем затормаживает агрессивность и у человека»¹.

Личное узнавание сопровождается широким диапазоном чувств и переживаний, которые настолько многогранны, что справедливым кажется афоризм: «Животные — это эмоциональные люди с очень слабым интеллектом». Этология показывает, что в животном мире есть общественная жизнь с такими, казалось бы, специфическими для человека отношениями, как дружба, любовь и т. п.

Высшие животные воспитываются в обществе. Им присущи чувства печали, радости, грусти и т. п. Они переживают не только потерю места, но и потерю друга. Любовь выступает как способ сдерживания агрессии у агрессивных видов и эволюционно выгодна, так как обеспечивает репродуктивный успех.

Четвертой формой сообществ являются *иерархические группы*, которые известны у большого числа видов, начиная от пчел и термитов и кончая нашими ближайшими родственниками в животном мире — обезьянами. Иерархия — принцип организации, без которого не может развиваться упорядоченная совместная жизнь высших животных. Он заключается в том, что каждый в группе знает, кто сильнее и слабее его и ведет себя в соответствии с этим, соблюдая «порядок клевания». Положение в иерархии зависит от размеров, силы, выносливости и агрессивности. Если ввести вещество, повышающее агрессивность, то самец переходит в более высокий ранг. Одно из преимуществ иерархии в том, что она уменьшает агрессивность особей, связанную с питанием, выбором полового партнера и места для выведения потомства.

Управляет иерархией одна особь или «коллегия». Занимающие высокие места в иерархии всегда помогают слабейшим. Иерархия укрепляется, если имеется враг вне группы, на которого может направляться агрессивность. Социальная иерархия повышает генетическую жизнеспособность сообщества благодаря тому, что наиболее сильные и приспособленные животные имеют преимущество, когда приходит время размножаться.

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 160.

Муравьи, термиты и пчелы живут колониями, организованными по принципу кастовой системы. «У приматов сообщества довольно гибки в том смысле, что роли между членами группы могут перераспределяться, тогда как роли в сообществах насекомых определяются строением тела и способностью к размножению»¹.

Обычно группы мирно уживаются между собой, но есть виды, которые ведут жестокую борьбу, кончающуюся гибелью всех групп, кроме одной — самой большой и агрессивной. Таковы взаимоотношения между кланами вечных спутников человека — крыс. «Трудность по-настоящему успешной борьбы с серой крысой — наиболее успешным биологическим противником человека — состоит прежде всего в том, что крыса пользуется теми же методами, что и человек: традиционной передачей опыта и его распространением внутри тесно сплоченного сообщества»².

Изучение конкурирующих кланов заставляет иначе посмотреть на представления о благотворности отбора, сложившиеся еще в XIX в. По мнению К. Лоренца, «самое ужасное — и для нас, людей, в высшей степени тревожное — состоит в том, что эти добрые, старые дарвинистские рассуждения применимы только там, где существует какая-то внешняя, из окружающих условий исходящая причина, которая и производит такой выбор. Только в этом случае отбор вызывается приспособлением. Однако там, где отбор производится соперничеством сородичей самим по себе, — там существует... огромная опасность, что сородичи в слепой конкуренции загонят друг друга в самые темные тупики эволюции»³.

**Этология
и человек**

Этология еще до социобиологии показала, что в человеке много свойственного животным. Агрессивность человека соответствует агрессивности животных, а садизм имеет корни в инстинкте агрессии. Как и в животном мире, агрессивность больше присуща мужчинам. Отбор в результате только внутривидовой борьбы, по мнению этологов, может отрицательно сказываться на виде, а он играет все большую роль для человека, стимулируя войны и экологический кризис. По мнению К. Лоренца, «есть веские основания считать внутривидовую агрессию наиболее серьезной опасностью, какая грозит человечеству в современных условиях культурно-исторического и технического развития».

Как преодолевается эта опасность в животном мире? «Полезный, необходимый инстинкт вообще остается неизменным, но

¹ Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3 т. — М., 1990. — Т. 2. — С. 309.

² Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 165.

³ Там же. — С. 167.

для особых случаев, где его проявление было бы вредно, вводится специально созданный механизм торможения. И здесь снова культурно-историческое развитие народов происходит аналогичным образом. Именно потому важнейшие требования Моисеевых и всех прочих скрижалей — это не *предписания*, а *запреты*»¹. Христос запретил противиться злу. Отказ от борьбы известен и у животных.

Вера в божественность каких-либо установлений является врожденной в результате генетического закрепления повторения определенных действий. По мнению К. Лоренца, «образование ритуалов посредством традиций безусловно стояло у истоков человеческой культуры, так же как перед тем, на гораздо более низком уровне, филогенетическое образование ритуалов стояло у зарождения социальной жизни высших животных»². Борьба в животном мире ведется по определенным правилам, и некоторые виды спорта напоминают ритуальные бои самцов.

Агрессивность нельзя исключать, избавляя людей от раздражающих ситуаций, или наложив на нее моральный запрет, или с помощью генетической инженерии, так как она выполняет биологически положительную роль и все инстинкты связаны между собой (например, смех связан с агрессивностью). Необходима переориентация того, что К. Лоренц называет «воодушевлением» и «объективное физиологическое исследование возможной разрядки агрессии в ее первоначальных формах на эрзац-объекты»³. Необходимо также общее дело и улучшение общего культурного образования для создания как можно большего количества «идентификаций», так как, по мнению К. Лоренца, «спасение могут принести ценности, которые кажутся далекими от борьбы и от политики, как небо от земли»⁴. Спорт, искусство, наука, смех выступают как тормозящие механизмы агрессии по отношению ко всем людям и всей природе.

К. Лоренц формулирует биологический вариант категорического императива И. Канта: «Могу ли я возвысить законы, управляющие моими поступками, до ранга общего закона природы или результат окажется противоречащим рассудку?»⁵. Этологический императив звучит так: «Поступай так, чтобы твое поведение как разумного существа соответствовало законам природы».

Однако полной аналогии между поведением человека и животных не может быть именно потому, что человек не только биологическое существо. «У дикого животного в естественных ус-

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 114—115.

² Там же. — С. 81.

³ Там же. — С. 258.

⁴ Там же. — С. 264.

⁵ Лоренц К. Человек находит друга. — М., 1971. — С. 153.

ловиях не возникает конфликта между его внутренними склонностями и тем, что оно “должно” делать, — вот эту-то райскую гармонию и потерял человек. Более высокий интеллект обеспечил человеку культурное развитие, и, главное, принес с собой дар речи, способность отвлеченно мыслить, накапливать и передавать от поколения к поколению запасы знаний. В результате историческое развитие человека происходило в сотни раз быстрее, чем чисто органическое, филогенетическое развитие прочих живых существ. Однако инстинкты человека, его врожденные реакции по-прежнему связаны с намного более медленным органическим развитием и отстают от его культурно-исторического развития. “Естественные склонности” уже не вполне укладываются в рамки человеческой культуры, в которых их практически заменил интеллект»¹.

Животные гораздо более жестко реагируют на стимулы, чем человек. Еще одно отличие человека от животных — способность к высоким порядкам предсказания. Большее значение, чем у животных, имеет у человека обучение и все, связанное с ним.

Для того чтобы что-то выучить, нужен интерес к предмету изучения. Способом его повышения служит игра. Потребность в игре, по К. Лоренцу, свойственна только наиболее психически развитым из всех живых существ: «Неслучайно игра представляется нам более высоким видом деятельности, чем соответствующие ей серьезные типы поведения, назначение которых — сохранять жизнь вида... В игре — особенно у молодых животных — всегда присутствует элемент открытия... Игра типична для развивающегося организма»².

Современная психология утверждает, что человеку присуще в качестве его фундаментальной черты стремление к новому как способу обучения, причем мужчинам в большей степени, чем женщинам. В создании новых ситуаций ученые видят суть искусства. Это результат развития того, что в слабой форме свойственно и животным.

В процессе общения человеческий разум в какой-то степени передается домашним животным. Собаки понимают отдельные фразы и могут читать мысли хозяев. Но рост интеллекта у домашних животных сопровождается угасанием инстинктов. Сопоставляя разум и инстинкт, следует признать, что наличие интеллекта не позволяет считать человека абсолютно приспособленным видом. «Выигрыш, достигнутый человеком благодаря большему размеру и большей сложности мозга, частично сводится на нет тем обстоятельством, что за один раз можно эффективно использовать лишь часть мозга. Возникает любопытная мысль, что, быть

¹ Лоренц К. Человек находит друга. — М., 1971. — С. 152.

² Там же. — С. 137.

может, мы стоим перед одним из тех природных ограничений, когда высококвалифицированные органы достигают уровня нисходящей эффективности и в конце концов приводят к угасанию вида. Быть может, человеческий мозг продвинулся так же далеко к этой губительной специализации, как большие носовые рога последних титанотериев»¹.

К этому добавляются опасения, что в человеческом обществе ослаблен естественный отбор (благодаря, в частности, заботе о менее приспособленных и выживании больных), помогавший эволюции наших предков. Каких бы успехов ни достигало человечество, это всегда сопровождалось пессимистическими высказываниями о том, что оно находится на пути вырождения и вообще представляет собой тупиковую ветвь эволюции.

Поведение и гены

С появлением генетики любые данные о животном мире неизбежно вызывают вопрос: насколько они генетически обусловлены и закреплены? Это стало предметом изучения сформировавшейся в 70-х гг. XX в. *социобиологии*. Ее основоположником считался американский ученый Э. Уилсон, выпустивший в 1975 г. книгу «Социобиология: новый синтез». Социобиология представляет собой синтез популяционной генетики, эволюционной теории, этологии и экологии.

Еще до выделения социобиологии У. Гамильтон в середине XX в. выявил, что закрепление общественного образа жизни у термитов, муравьев, пчел и ос связано с тем, что у этих животных «индивид» в среднем содержит 50 % одинаковых с родителями, братьями и сестрами генов, а в колониях пчел родство сестер составляет 75 %. Особь включает свои гены в следующие поколения через родственников. Вслед за этим наряду с понятием индивидуального отбора введено понятие *родственного отбора*, ответственного за взаимопомощь в природе.

Поведение, основанное на взаимопомощи, называется альтруизмом (в противоположность эгоизму). Альтруизм может быть результатом рабства или ожидания вознаграждения (вынужденный или взаимный альтруизм). Как установил В. Уинн-Эдвардс, если бы скорость размножения животных всегда была максимальной, то популяция очень скоро осталась бы без пищи, поэтому в процессе эволюции происходил отбор тех сообществ, у которых скорость размножения скоррелирована с ресурсами, что обусловлено социальной организацией.

Таким образом, отбор должен благоприятствовать сообществам с более эффективной социальной организацией. Это объясняет появление понятия *групповой отбор*, при котором взаимопомощь в природе выходит за рамки родственных отношений.

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 226.

Центральный тезис социобиологии звучит так: каждая форма социального поведения обязательно имеет генетическую основу, которая «заставляет» индивидов действовать так, чтобы обеспечить успех для себя и сородичей. С этой точки зрения и агрессия, и страх, который проявляют только что родившиеся особи, представляют собой генетически детерминированные и эволюционно отобранные образцы поведенческих реакций. Объясняя поведение генетической основой, социобиология выявила гены агрессивности, злобности, способности ориентироваться в пространстве и т.п.

Социобиология объяснила различия в поведении, обусловленные полом животного. Главное назначение самки — обеспечить выживание потомства. Поэтому она выбирает самца или на основе его генетических качеств, или имея в виду его помощь в заботе о потомстве. Интерес самцов — репродуктивный успех, и в меньшей степени — организация семьи. Таким образом, по представлениям социобиологов, такие поведенческие проявления, как верность, измена, выбор партнера, детерминируются генетически.

Одним из спорных моментов социобиологии является выяснение того, что в большей мере является движущей силой эволюции — эгоизм или альтруизм. В соответствии с точкой зрения английского ученого Р. Докинса, воспроизводство жизни — это функция эгоизма, и все, что эволюционировало, должно было быть эгоистичным. Однако как объяснить с позиций борьбы за существование широкое распространение альтруистического поведения?

Возникает также вопрос: как альтруистическое поведение может передаваться из поколения в поколение? Ответ на него к настоящему времени звучит так. Если одно животное подает сигнал об опасности другим, рискуя своей жизнью, то это поведение может быть сохранено отбором, так как дает преимущества родственным особям, и гены альтруистической особи сохраняются в них. Так, жало рабочих пчел остается в теле врага, однако при этом гибнет и сама пчела. Африканские термиты в сражении с врагами извергают особый секрет, от которого гибнут и их противники и они сами. Популяции, в которых индивиды проявляют самопожертвование ради пользы других, оказываются в более выгодных условиях, чем те, члены которых прежде всего заботятся о собственном благополучии.

Социобиология является перспективным научным направлением, главные выводы которой еще впереди.

**Вклад
социобиологии
в изучение человека**

«Социобиология изучает биологические основы всех форм общественного поведения, включая человека», — писал основоположник социобиологии Э. Уилсон. Как нейрофизиология стремится объяснить физиологические основы мышления, так социобиология — биологические основы эволюции человека.

Человек — существо социальное. С точки зрения философии сущность человека — это совокупность общественных отношений. Проблема выделения сущности человека есть проблема разграничения животного и собственно человеческого. Первое изучает естествознание, второе — гуманитарные науки. Таким образом, социобиология находится на стыке этих двух групп наук.

В применении к исследованию человека социобиология — наука о социальной организации, выявляющая сходство между социальным поведением человека и животных, а также механизмы генетической детерминации социального поведения человека. Социобиология рассматривает человека как существо, состоящее из двух частей: биологической и социальной. Задача социобиологии — создание «биограммы человека», т.е. максимально полного описания природно-биологических основ его жизнедеятельности с тем, чтобы объяснить эволюцию культуры изменениями на биоуровне. Проблема взаимосвязи природного и социального в человеке обозначается как проблема генно-культурной коэволюции.

Социобиология изучает коэволюцию человека, основная идея которой заключается в том, что «человек разумный» есть обычный биологический вид с генетически разнообразным поведением. У человека, как любого другого вида жизни, не может быть целей, которые возникали бы вне его собственной биологической природы. Поэтому социобиология отрицательно отвечает на вопрос: «Может ли культура изменять поведение человека, приближая его к альтруистическому совершенству?»

У человека есть врожденная способность к взаимопомощи и общительности как основе морали. В той степени, в которой эта способность наследуется, она социобиологична; в той, в которой приобретается в процессе жизни и воспитания, — она социокультурна. Проблема в том, чтобы выяснить, может ли влияние цивилизации (искусственного света, мобильных телефонов и т.п.) переходить на генетический уровень и становиться фактором искусственного отбора или происходит только социальное наследование культуры.

Генетика вкупе с социобиологией изучают вопрос о том, существуют ли гены эгоизма, альтруизма, т.е. наследуются ли черты характера или они социально обусловлены воспитанием. Под генетическую детерминацию попадает инцестовое торможение, конфликт отцов и детей, война, территориальность, различная ориентация полов, страх детей перед чужими людьми и т.д. Стремление сохранить свой престиж и достоинство также врожденно. Социобиология утверждает, что скоро мы сможем определять многие из генов, которые обуславливают поведение.

Мышление преимущественно социокультурно, но интеллект обеспечивает, если можно так выразиться, способность челове-

ческих генов к выживанию. «Противоразумное возникает лишь в случае нарушения какого-либо инстинкта»¹, — подчеркивал К. Лоренц.

Вопросы для повторения

1. Чем отличаются инстинкты от рефлексов?
2. Что такое этология?
3. Каковы формы сообществ живых существ?
4. Какие виды научения, свойственные животным, вы знаете?
5. Что такое возбуждение и торможение в нейрофизиологии?
6. Чем занимается нейрофизиология?
7. Что такое бихевиоризм?
8. Что изучает социобиология?
9. Что говорит социобиология о генетической детерминации социального поведения?
10. Что такое гены эгоизма и гены альтруизма?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Каков механизм восприятия?
2. Каков механизм формирования представления?
3. Что такое условный и безусловный рефлексы?
4. Что такое нейтрон, нейтрино и нейрон?
5. Каковы главные инстинкты, определяющие поведение животных?
6. Как изменились представления о высшей нервной деятельности от И. П. Павлова до наших дней?
7. Что такое психика и зачем она нужна?
8. Как изучают мозг с помощью электродов?
9. Какая связь между учением И. П. Павлова и кодированием?
10. Что такое инстинкт, научение и запечатление?
11. Каковы основные инстинкты животных с точки зрения этологии?
12. Каково значение агрессии по К. Лоренцу?
13. Как инстинкты связаны между собой?
14. Каково соотношение инстинкта и интеллекта?
15. Каковы формы социального поведения животных?
16. Как можно объяснить альтруизм?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Уже говорилось, что как агрессивность, так и половое влечение складываются из реакций на простые знаковые стимулы, а самка, будучи представителем того же вида, что и самец, помимо стимулов, вызывающих у него половую реакцию, не может не посылать сигналов, провоцирующих агрессивность, при приближении ее к партнеру — у того всегда

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 252.

активизируется и враждебность, и сексуальность... Таким образом, в каждом животном одни побуждения точно уравновешивают другие» (Н. Тинберген).

«Если первым, с кем столкнулся гусенок, был человек, птица уже не будет ассоциировать себя с гусями, как бы долго ее ни заставляли жить среди них» (Н. Тинберген).

«Гусята Лоренца сохраняли привязанность к нему даже после того, как начали летать. Ученый не мог присоединиться к ним в воздухе, и они время от времени совершали облеты окружающей территории, частично удовлетворяясь присутствием собратьев. Однако, садясь на землю, изо всех сил бежали к Лоренцу. Однажды, когда Лоренц ехал по дороге на велосипеде, стараясь не отстать от летящих птиц, он, засмотревшись на них, упал в придорожную траву. Гуси немедленно опустились рядом на землю» (Н. Тинберген).

«Все накопленные до сих пор данные приводят к выводу, что сигнальные движения первоначально не обладали знаковой функцией. В каком-то смысле это были “побочные продукты” нервной организации. После появления знаковой функции начался новый этап адаптивной эволюции, ритуализация» (Н. Тинберген).

«Здесь есть матка, стерильные самки (рабочие) и самцы. Рабочие выполняют в сообществе разнообразные обязанности. Некоторые из них собирают нектар, другие — пыльцу. Третьи только строят соты, а четвертые специализируются на заботе о приплоде. Это разделение труда зависит от возраста: каждая рабочая пчела последовательно меняет “профессии”... Жизнь такого сообщества гораздо дольше, чем жизнь каждого составляющего его индивида, и поэтому такие системы называют “государствами”. Исходное государство с одной маткой во главе разделяется непосредственно перед выходом из куколки новой матки. Старая матка с роем улетают искать новое место для поселения... Матки некоторых муравьев иногда заходят в гнездо другого вида, убивают всех взрослых муравьев и “усыновляют” приплод; таким путем возникает любопытный феномен “рабовладения”... У термитов самцы и самки играют одинаково важную роль: это — “царская чета”. Есть у муравьев и термитов касты, например, каста “солдат”» (Н. Тинберген).

«Сравнение — могучее оружие этологии... По правде говоря, исследователь поведения животных настойчиво ловит себя на том, что примеривает свои открытия к собственному виду. Не входя в подробности, должен признаться, что ту малую толику понимания человеческой натуры, которая у меня есть, я приобрел, наблюдая не только за людьми, но и за птицами и рыбами. Животное словно держит зеркало перед наблюдателем, и — что греха таить — отражение, если его правильно истолковать, иной раз не слишком льстит оригиналу» (Н. Тинберген).

III. Прокомментируйте схему.

Способы физиологического воздействия на психику

- А) Непосредственное воздействие на мозговые центры.
- Б) Образование условных рефлексов.
- В) Генная инженерия.

- Г) Евгеника.
- Д) Алкоголь и наркотики (опыты с ЛСД).
- Е) Кодирование поведения.
- Ж) Использование внутренних ресурсов (энергия Кундалини).

Литература

Лоренц К. Агрессия. — М., 1994.

Тинберген Н. Поведение животных. — М., 1969.

Тинберген Н. Социальное поведение животных. — М., 1992.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

СОВРЕМЕННАЯ АНТРОПОЛОГИЯ

**Человек как предмет
естественно-научного
познания**

Когда мы говорили о различии естественно-научного и гуманитарного знания, то определили, что естествознание изучает природу, как она есть, а гуманитарные науки изучают духовные продукты творческой деятельности человека. В каком смысле, учитывая такое разделение, можно говорить о человеке как предмете естествознания? В том смысле, что человек тоже естественен: во-первых, по своему происхождению, и, во-вторых, по своей природе, т.е. биологической основе своего существования. Человека можно рассматривать и как физическое тело, и как биологическое существо.

В настоящее время в науке утвердилось представление о том, что *человек — биосоциальное существо*, соединяющее в себе биологический и социальный компоненты. С этим можно согласиться, не забывая, что, во-первых, человека можно рассматривать и с физической точки зрения, рассматривая его как физический объект, и с химической точки зрения, изучая происходящие в нем химические процессы, и, во-вторых, что не только человек обладает социальной формой существования, но и многие животные. Более того, с каждым годом этология накапливает все больше данных, свидетельствующих о том, что социальное поведение человека во многом генетически детерминировано.

Еще в античной философии много внимания уделялось определению природы человека. Киники видели ее в естественном образе жизни и ограничении желаний и материальных потребностей; Эпикур — в чувствах, общих у человека и животных; Сенека и стоики — в разуме. В западной философии, особенно в марксизме, на передний план выдвинулось представление о социальной сущности человека.

С точки зрения современной науки следует более точно разделять биологическую предопределенность существования человека и его родовую (собственно человеческую) сущность. Поисками границ между биологическим и специфически человеческим занимается *социобиология*. Эта наука в применении к изучению человека находится на стыке естественно-научного и гуманитарного знания.

Итак, человек как предмет естественно-научного познания может рассматриваться в трех направлениях. Первое направление, традиционно называемое *антропологией*, изучает, когда, от кого и как произошел человек и чем он отличается от животных. Второе направление — социобиология — изучает генетическую основу человеческой деятельности и соотношение физиологического и психического в человеке. К третьему направлению относится изучение естественно-научным путем мозга человека, его сознания и т.п.

**Проблема
появления человека
на Земле**

Как и в вопросе происхождения Вселенной и жизни, существует представление о божественном творении человека. «И сказал Бог: сотворим человека по образу нашему, по подобию нашему... И сотворил

Бог человека по образу своему»¹. Согласно индийской мифологии мир произошел от первого прачеловека — Пуруши.

Во многих первобытных племенах были распространены представления о том, что их предки произошли от животных и даже растений (на этом основано представление о тотемах). Такие верования встречаются у так называемых отсталых народов до сих пор. В античности высказывались мысли о естественном происхождении людей из ила (Анаксимандр). Тогда же заговорили о сходстве человека и обезьяны (Ганнон из Карфагена).

В настоящее время в связи с ажиотажем вокруг НЛО в моду вошли версии о происхождении человека от внеземных существ, посещавших Землю, или даже от скрещивания космических пришельцев с обезьянами.

В науке начиная с XIX в. господствует вытекающая из теории эволюции Ч. Дарвина концепция происхождения человека от высокоразвитых предков современных обезьян. В XX в. она получила генетическое подтверждение, поскольку из всех животных по генетическому аппарату ближе всего к человеку оказались шимпанзе.

**Сходства
и различия человека
и животных**

Прежде чем говорить о времени появления человека, мы должны выяснить, в чем его сходство и отличие от животных, поскольку именно представление о том, что такое человек, формирует выводы о его становлении.

Сходство человека и животных определяется, во-первых, вещественным составом, строением и поведением организмов. 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 шкале стоит животное, тем больше его сходство с человеком. Во-вторых, человеческий зародыш проходит в своем развитии те же ста-

¹ Бытие: 1.26; 27.

дии, которые прошли в процессе эволюции животные. И, в-третьих, у человека имеются рудиментарные органы, которые выполняют важные функции у животных и сохранились у человека, хотя не нужны ему (например, аппендикс).

Отличия человека от животных фундаментальны. К ним прежде всего относится разум. Что это такое? Изучение высших животных показало, что они обладают многим из того, что раньше считалось присущим только людям. Эксперименты показали, что обезьяны могут понимать слова, сообщать с помощью компьютера о своих желаниях, и с ними можно вести, таким образом, диалог. 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. Мышление животных, если о таковом можно говорить, всегда конкретно; мышление человека может быть абстрактным, отвлеченным, обобщающим, понятийным, логичным.

Чем выше способность к понятийному мышлению, тем выше интеллект человека. Оценить действительное значение разума помогает, в частности, соперничество человека с шахматным компьютером, который пытается выиграть за счет громадных скоростей перебора всех возможных вариантов.

Этология получает все больше данных о том, что в поведении человека и животных много общего. Животные испытывают любопытство, чувства радости, горя, тоски, вины и т.п.; они обладают вниманием, памятью, воображением. Тем не менее, хотя животные имеют очень сложные формы поведения и создают изумительные произведения (например паутина, которую ткет паук), человек отличается от всех животных тем, что до начала работы имеет план, проект, модель постройки. Благодаря способности к понятийному мышлению человек *создает*, что он делает, и *понимает* мир.

Еще одним главным отличием является то, что человек обладает **речью**. У животных может быть очень развитая система общения с помощью сигналов (что, кстати, позволило говорить о «цивилизации дельфинов»), но только у человека есть то, что И. П. Павлов назвал второй сигнальной системой (в отличие от первой — у животных) — общение с помощью слов. Именно речью человек отличается от других общественных животных.

Слово — это видовой признак человека, который состоит в непосредственном доступе нашего сознания к высшему организующему началу бытия, к последнему звену восходящей цепочки мировых принципов, начинающейся с точного подбора физических констант. В современной методологии науки значение слова выводят из утверждения, которым открывается одно из Еванге-

лий: «В начале было Слово». Согласно этой позиции разум и слово появились задолго до человека и не являются его изобретением. Они организовали биологическую материю, а затем были вложены в человека, что соответствует не только библейским текстам, но и философским системам Платона и Г. В. Ф. Гегеля.

В естествознании, пытающемся выяснить естественные причины человеческих способностей, известна гипотеза происхождения речи из звуков, произносимых при работе, которые потом становились общими в процессе совместного труда. Сначала появились корни глаголов, соответствующие определенным видам деятельности, затем другие части слова и речи. Такова суть гипотезы немецкого антрополога М. Мюллера. Таким же путем в процессе общественного труда постепенно мог возникнуть и разум.

Способность к труду — еще одно фундаментальное отличие человека от животных. Конечно, все животные что-то делают, а высшие животные способны к сложным видам деятельности. Обезьяны, например, используют палки в виде орудий для доставания плодов. Но только человек способен *изготавливать, 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.

Со способностью к труду соотносятся еще два отличительных признака человека: *прямохождение*, которое освободило его руки, и, как следствие, *развитие руки*, особенно большого пальца на ней. Наконец, еще два характерных признака человека, повлиявших на развитие культуры, — *использование огня и захоронение трупов*. Главными отличиями человека от животных являются понятийное мышление, речь, труд — они способствовали обособлению человека от природы.

**Развитие
антропологии
в XX веке**

В широком смысле «антропология» — это наука о человеке (от греч. *anthrōpos* — человек). Но так как человека изучает множество наук, как естественных, так и гуманитарных, то за антропологией в узком смысле осталась проблема происхождения человека и определения специфики его строения и эволюции.

Бурное развитие антропология получила во второй половине XIX в. после создания Ч. Дарвином теории эволюции. Э. Геккель выдвинул гипотезу о существовании в прошлом промежуточного между обезьяной и человеком вида, который он назвал *питекантропом* (букв. «обезьяночеловек»). Он же предположил, что предками человека были не современные обезьяны, а *дриопитеки* (букв. «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. 20 млн лет назад под

влиянием похолодания джунгли отступили и представителям одной из ветвей дриопитеков пришлось спуститься с деревьев и перейти к прямохождению. Их останки найдены в Индии и названы в честь бога Рамы *рамопитеками*.

В 1960 г. английский археолог Л. Лики открыл в Восточной Африке «человека умелого», возраст которого 2 млн лет. Объем мозга его составлял 670 см³. В этих же слоях были обнаружены орудия труда из расколотой речной гальки, заостренной при помощи нескольких сколов. Позже на озере Рудольф в Кении были найдены останки существ того же типа возрастом 5,5 млн лет. Наличие сделанных орудий труда (если по этому факту судить о становлении человека) дали основания считать возраст человека более солидным.

После этого укрепилось мнение, что именно в Восточной Африке в четвертичном периоде кайнозойской эры (не ранее, так как гены тех и других слишком сходны) произошло разделение человека и человекообразных обезьян. Именно тогда разошлись эволюционные линии человека и шимпанзе. Эти выводы подтверждены измерениями по так называемым «молекулярным часам». Скорость изменения генов за счет точечных мутаций (изменений отдельных пар оснований ДНК) 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? Дело в том, что на этой территории отмечены выходы урановых пород и зафиксирована повышенная радиация, что, как доказано генетикой, вызывает мутации. Таким образом, эволюционные изменения здесь могли протекать более быстрыми темпами. Возникший вид, физически более слабый, чем окружение, чтобы выжить, должен был начать изготавливать орудия, вести общественный образ жизни. Все это способствовало развитию разума как мощного инструмента слабого от природы существа, не обладающего достаточными естественными органами защиты.

«Человека умелого» относят к *австралопитекам* (букв. «южная обезьяна»). Останки австралопитека впервые найдены в Африке в 1924 г. Объем его мозга не превышал объема мозга человекообразных обезьян, но, по-видимому, этого было достаточно для создания орудий труда. Вооружившись таким образом, австралопитек преодолевал противоречия между своей естественной слабостью и опасным существованием.

В 1891 г. на острове Ява были обнаружены останки *питекантропа*, о существовании которого говорил Э. Геккель. Существа, жившие 0,5 млн лет назад, имели рост более 150 см. Объем их мозга составлял примерно 900 см³. Они применяли ножи, сверла, скребки, ручные рубила. В 20-е гг. XX в. в Китае был найден

синантроп (букв. «китайский человек»), близкий к питекантропу по объему мозга. Он использовал огонь и сосуды, но еще не обладал речью.

В 1856 г. в долине Неандерталь в Германии были обнаружены останки существа, жившего 150—40 тыс. лет назад, названного *неандертальцем*. Он имел объем мозга, сравнимый с мозгом современного человека, покатый лоб, надбровные дуги, низкую черепную коробку. Неандерталец жил в пещерах, охотился на мамонтов. Умерших сородичей неандертальцы хоронили. Это было отмечено впервые в эволюции рода «Хомо».

Наконец, в пещере Кро-Маньон во Франции в 1868 г. были найдены останки существа, близкого по облику и объему черепа (до 1600 см³) к современному человеку и имевшему рост 180 см. Время его возникновения — 40—15 тыс. лет назад. Это «Человек Разумный».

В ту же эпоху появились расовые различия. У изолированных групп складывались особые признаки (светлая кожа у «белых» и т.п.).

Итак, линия эволюции человека выстраивается следующим образом:

«человек умелый» (австралопитек) → «человек прямоходящий»
(питекантроп и синантроп) → «человек неандертальский»
(неандерталец) → «человек разумный» (кроманьонец).

После кроманьонца человек не изменялся генетически, тогда как его социальная эволюция продолжалась.

У.Хавеллз утверждает, что человек современного типа возник 200 тыс. лет тому назад в Восточной Африке. Эта гипотеза получила название «Ноева ковчега», потому что, по Библии, все расы и народы произошли от трех сыновей Ноя — Сима, Хама и Иафета. В соответствии с этой версией питекантроп, синантроп и неандерталец — не предки современного человека, а различные группы гоминид (человекообразных существ), вытесненных «человеком прямоходящим» из Восточной Африки. В пользу данной гипотезы свидетельствуют генетические исследования, которые, однако, признаются надежными не всеми антропологами и палеонтологами.

Согласно гипотезе мультирегиональной эволюции человечества (М.Уолпофф) в Африке возникли только архаичные люди, современные же люди появились там, где они живут сейчас, а Африку человек покинул не менее 1 млн лет назад. Эта гипотеза основывается на палеонтологическом сходстве между современными людьми и далекими предками, живущими в местах их обитания.

Какая из этих гипотез справедлива, сказать пока трудно, так как палеонтологическая летопись неполна и промежуточные виды до сих пор в полном объеме неизвестны.

Помимо эволюции человека как биологического вида можно говорить об эволюции культуры. Учеными была предложена шкала, которая основывалась на материале орудий, созданных и применяемых человеком. Выделяют **каменный век** — эпоху применения каменных орудий, а в его пределах — *палеолит* (древнекаменный век) и более подробно:

- нижний палеолит (существование австралопитека и «человека прямоходящего») — преобладание галечных орудий, ручных рубил и чопперов (больших галечных орудий, оббитых с одной стороны);

- средний палеолит (существование неандертальца) — преобладание орудий на отщепах (отколотых частях камня, являющихся заготовкой для более сложных орудий);

- верхний палеолит (существование «человека разумного» от 38 тыс. лет назад) — появление пещерного искусства у «человека разумного».

В *мезолите* (среднекаменном веке) преобладал охотничье-собираательный тип общественного устройства.

В эпоху неолита (новокаменном веке) 9—6 тыс. лет назад произошло важное событие, получившее название неолитической революции — человек начал одомашнивать диких животных, перешел к выращиванию растений и оседлому образу жизни (появились свайные постройки). Из охотничье-собираательного хозяйство превратилось в производящее скотоводческое земледельческое. Виды домашних животных и культурных растений, выведенные с помощью искусственного отбора и гибридизации, гончарное производство, ткачество, металлургия и другие результаты неолитической революции широко используются и поныне.

Следующие стадии культуры сведены в так называемую систему «трех веков», в которую входят **медный, бронзовый, железный** века. Каждый из них имел свою датировку, но потом выяснилось, что это скорее стадии развития отдельной культуры, время которых зависит от времени развития данной культуры. Последовательность смены «веков» соблюдается не во всех регионах Земли. В целом данная схема ныне признается неудовлетворительной, хотя ничего лучшего ученым пока предложить не удалось.

Развитие цивилизации, по А. Тойнби, идет через подражание. Это соответствует гипотезе, согласно которой способность к имитации поведения других видов имела большое значение на ранних стадиях человеческой эволюции для «вписывания» человека в природу и установления гармоничных отношений с ней. Способность к имитации, доставшаяся от обезьян, послужила основой социального развития человека. Р. Дикинс ввел понятие «мим», обо-

значающее единицу подражания. Примерами «мимов» являются мотивы, идеи, фразы, мода, способы создания вещей или частей здания.

В так называемом «традиционном обществе», по А. Тойнби, подражают старшим. Это общество консервативно и малоспособно к развитию. В «прогрессивном обществе» подражают талантливым, и такое общество способно к более быстрому развитию. Понятие прогресса применимо только к эволюции в целом. Отдельные общества могут регрессировать по своему духовному и культурному уровню (например, аборигены Австралии), возможно, из-за доступности пищи и более легких условий существования, которые препятствуют совершенствованию.

Для нормального развития, по мнению А. Тойнби, необходимы кризисы, которые требуют напряжения сил для адекватного ответа на вызов ситуации. Человек достигает цивилизованного состояния не вследствие биологических дарований (наследственности) или легких условий географического окружения, а в процессе удачного реагирования на вызов в ситуации особой трудности, воодушевляющей на беспрецедентное усилие. Прогресс общества определяется, таким образом, ответом на вызов объективных условий существования.

Этнология

С антропологией тесно связана этнология, которая изучает закономерности функционирования больших групп людей — этносов. Поскольку многие различия между людьми — национальные, расовые, половые — являются естественными, постольку общественные объединения по этим признакам можно рассматривать с естественно-научной точки зрения.

Основное понятие этой науки — понятие *этнос*. Этнос, в отличие, скажем, от используемого в гуманитарных науках понятия нации, представляет собой объединение людей главным образом по национальному (т.е. в большей степени естественному, чем культурному) признаку.

Известный этнолог нашего времени — русский ученый Л. Н. Гумилев. Он едва ли не единственный серьезный ученый, работы которого широко издаются в нашей стране. Этнология, по Л. Н. Гумилеву, естественная наука. Если З. Фрейд пытался объяснить действия индивидов психической энергией, то Л. Н. Гумилев объясняет этногенез воздействием энергии Солнца.

Солнце посылает импульсы, которые приводят к так называемому пассионарному толчку. Объясняя это, Л. Н. Гумилев высказывает следующую гипотезу. При снижении солнечной активности защитные свойства ионосферы снижаются и отдельные кванты, или пучки, энергий могут пролететь невысоко над земной поверхностью. Их жесткое излучение, как известно, вызывает мутации.

Механизм эволюции этносов, предложенный Л.Н.Гумилевым, близок синергетическому:

воздействие извне (солнечное излучение) →
появление «пассионариев» → точка бифуркации →
становление → развитие этноса.

«Пассионарии» Л.Н.Гумилева — это как бы центры кристаллизации, если воспользоваться примером И.Пригожина о превращении воды в лед.

По Л.Н.Гумилеву, пассионарный толчок приводит к появлению некоторого числа энергетичных (пассионарных) личностей, которые, индуцируя пассионарность, формируют этнос, ведя всех людей за собой.

Этногенез включает следующие этапы.

Этап 1. Подъем — динамичная (завоевательная) фаза. Основной лозунг фазы подъема: «Интересы этноса важнее всего». Главное для индивидуума — долг перед обществом. В этот период часты войны, ведется интенсивное преобразование природы, которая страдает все же в меньшей степени, чем в другие периоды.

Этап 2. «Перегрев», надлом — акматическая фаза (от греч. *akmé* — вершина). Этнос достигает своей высшей точки силы, после которой начинается упадок.

Этап 3. Переход в нормальное состояние. Главным становится лозунг: «Будь самим собой». Процветает индивидуализм, льется кровь, но культура развивается, и в ней каждый проявляет свою индивидуальность; растранижаются богатства и слава предков; природа приходит в стабильное состояние в пассионарных странах, но разрушается в странах захваченных.

Этап 4. Обскурация — фаза затухающих колебаний. Лозунги фазы обскурации: «Будь, как все», «Мы устали от великих». Усиливается «возрастная болезнь» — убийство лучших по личным качествам. Каждый думает о себе. Продолжается рост культуры и накопление материальных ценностей. Этнос достигает гомеостаза. Природа или консервируется, или деградирует (в этом случае этнос гибнет). При исключительном упадке пассионарности природа восстанавливается.

В конце развития этноса — футуристическое восприятие времени, забвение прошлого и настоящего ради будущего. Это приводит к губительным восстаниям и крушению социальных структур. Через 1 200 лет этнос погибает в результате собственного разложения или нашествия других, более молодых и энергичных, этносов. Последние стадии существования этноса — мемориальная (остается только память как совокупность того, что было познано) и реликтовая (память исчезает). Согласно концепции Л.Н.Гумилева, сказания о героях в фольклоре всех народов — это воспоминания о светлой поре возникновения и мощи этноса.

Экология, о которой речь шла выше, может рассматриваться как модель взаимодействия человека с окружающей средой, поскольку человек — единство биологического и социального. В широком смысле слова к экологии относится все, что включено в систему отношений «человек—природа», и, стало быть, эта наука находится на стыке естественных, технических и гуманитарных наук.

Человек имеет самые разнообразные связи с окружающей средой — вещественные, энергетические, информационные. Они меняют и самого человека, и природу. Русский ученый А. Л. Чижевский выявил огромное воздействие на человека Солнца. Кривая распределения острых сердечных приступов по времени точно соответствует графику изменений солнечной активности. Свойства крови зависят от солнечного облучения. При возрастании активности Солнца увеличивается число красных кровяных телец и уменьшается число белых. Таким образом, можно сделать вывод, что человек — это живые солнечные часы.

Если животные преимущественно приспосабливаются к среде, то человек активно преобразует ее. В. И. Вернадский обосновал положение, что лик современной Земли сформирован человеком и тем самым выявил его геологическую роль. Деятельность человека вызывает циклическое движение основных химических элементов в масштабах, сопоставимых с их естественными циклами.

Среди современных направлений, изучающих взаимодействие человека и природы, можно также выделить глобальную экологию, экологию человека и социальную экологию. Основная задача *глобальной экологии*, по М. И. Будыко, — разработка прогнозов возможных изменений биосферы в целом под влиянием антропогенной деятельности. Глобальная экология берет начало от метеорологии и от существующих в этой науке численных моделей атмосферных процессов, применяемых для построения теории климата. В настоящее время ее предмет составляет также изучение системы взаимоотношений человека и природы в масштабе всей планеты.

Другим направлением является *экология человека*. Она рассматривает экологические отношения с точки зрения изучения организма человека и его адаптационных возможностей. Опасность для современного человека заключается, во-первых, в том, что он не обладает гомеостазом, соответствующим всем его нуждам. Так, он не приспособлен к радиации, поскольку защитный механизм боли, служащий наиболее общим предупреждающим сигналом, так как он сообщает о необходимости сознательного вмешательства, не реагирует на радиоактивное облучение. Во-вторых, несмотря на то, что человек имеет огромные адаптационные возможности в сравнении с другими видами жизни, они все-таки не успевают за изменениями окружающей среды.

Наконец, еще одним направлением исследований взаимоотношений человека и природы является *социальная экология*. Она изучает эти взаимоотношения с точки зрения воздействия общества на среду. Социальная экология отвечает на вопрос, почему развитие общества привело к экологическому кризису. Экология утверждает, что уменьшение биологического разнообразия опасно для устойчивости экосистем, а человек, думая о повышении продуктивности, нарушает основные закономерности развития экосистем (например, так называемые вредители сельского хозяйства, с которыми борется человек, как раз важны с точки зрения разнообразия и устойчивости экосистем). Человек стремится взять как можно больше от природы, а природа стремится не к максимальной продуктивности, а к максимальной устойчивости. Имея свои специфические родовые качества, человек должен бороться с природой. Но в этой борьбе не может быть победителей, потому что человек является частью биосферы, и, уничтожая природу, губит себя, не замечая этого, как он не замечает радиоактивного облучения. Разнообразие экосистем уменьшается человеком и с целью облегчения управления ими, но при превышении определенной меры это грозит экологической катастрофой. Конкуренция человека с другими людьми и видами жизни не ведет, как полагали А. Смит и Г. Лейбниц, к установлению гармонии. Как рыночные внутрисоциальные отношения не являются гомеостатическим механизмом, так и отношения человека с природой предполагают сознательное регулирование с целью их гармонизации.

Есть предположения, что в человеческом обществе, так же как и в живой природе, должен достигаться гомеостаз численности популяции в среде. Цифры возможного гомеостаза — от 1 млрд («золотой миллиард») до 12—20 и даже 700 млрд. Важно, конечно, не только то, сколько людей живет на Земле, но и то, каковы их качества. Для преодоления экологического кризиса необходимы отказ от потребительской ориентации и изменение науки, техники, человеческих ценностей. Наука и техника создают инструменты господства над природой, но нужны и инструменты для ее защиты. Изменения в научно-технической сфере должны касаться как целей, так и методологии, поскольку в социальной экологии, как и в квантовой механике, уже нельзя разделить субъект и объект, так как человек и природа представляют собой единую систему. Изменение ценностей требует совершенствования чувства «благоговения перед жизнью» и любви к природе. Можно ли любить природу в целом? По К. Лоренцу, только так и должно быть. «У того, кто любит природу истинной любовью, наибольший восторг и благоговение вызывает бесконечное разнообразие живых существ и бесчисленные способы, которыми природа создает совершенные гармонии»¹.

¹ Лоренц К. Человек находит друга. — М., 1971. — С. 138.

К социальной экологии примыкает концепция ноосферы. *Ноосфера* понимается как сфера господства разума (И. Г. Фихте) и как сфера разумного взаимодействия человека и природы (П. Тейяр де Шарден, В. И. Вернадский). Мы будем рассматривать ноосферу во втором смысле.

Ноосфера, по П. Тейяру де Шардену, — это коллективное сознание, которое станет контролировать направление будущей эволюции планеты и сольется с природой в точке Омега, как раньше образовывались такие целостности, как молекулы, клетки и организмы. «Мы непрерывно прослеживали последовательные стадии одного и того же великого процесса. Под геохимическими, геотектоническими, геобиологическими пульсациями всегда можно узнать один и тот же глубинный процесс — тот, который, материализовавшись в первых клетках, продолжается в созидании нервных систем. Геогенез, сказали мы, переходит в биогенез, который в конечном счете не что иное, как психогенез... Психогенез привел нас к человеку. Теперь психогенез ступеньвается, он сменяется и поглощается более высокой функцией — вначале зарождением, затем последующим развитием духа — ноогенезом»¹.

В «Кибернетике» Н. Винер вспомнил о воззрении Г. В. Лейбница на живой организм «как на некое сложное целое, где другие живые организмы (например, кровяные тельца) ведут собственную жизнь. Клетки обладают многими, если не всеми, свойствами независимых живых организмов... По степени целостности жизнь сообщества может вполне приближаться к уровню, характерному для поведения отдельной особи»². На базе таких холистических представлений и созданы Гей-гипотеза и концепция ко-эволюции. В. И. Вернадский развил концепцию ноосферы как растущего глобального осознания усиливающегося вторжения человека в естественные биогеохимические циклы, которое ведет, в свою очередь, ко все более взвешенному и целенаправленному контролю человека над глобальной биогеохимией.

Концепция ноосферы напоминает натурфилософские системы или сциентистские утопии. Становление ноосферы — возможность, но не необходимость. Ценность этой концепции в том, что она дает конструктивную модель вероятного будущего, а ее ограниченность в том, что она рассматривает человека прежде всего как разумное существо, тогда как индивидуум и тем более общество в целом редко ведут себя по-настоящему разумно. «Самая суть понятия ноосферы — вера в призвание людей, которые должны изменить биосферу с помощью науки и техники»³. Но склонность к вере выходит

¹ Т. де Шарден П. Феномен человека. — М., 1973. — С. 180.

² Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 227—228.

³ Т. де Шарден П. Феномен человека. — М., 1973. — С. 12.

за пределы разума, и самой по себе веры ученых в становление ноосферы недостаточно для того, чтобы это произошло.

Пока человечество движется отнюдь не к ноосфере, которая остается одной из научных гипотез.

**Биологические
основы
психических
различий между
мужчинами
и женщинами**

Естествознание изучает также биологические основы психических различий людей, в том числе между мужчинами и женщинами.

Одна из основательниц современной женской психологии К.Хорни считает, что психоанализ односторонен, потому что его объектом была преимущественно психика мужчин, в то время как психика женщин имеет существенные отличия. Наша цивилизация, по мнению К.Хорни, — это мужская цивилизация. Ее создатели — мужчины, и поэтому реальное наполнение социальных идей — мужское. Во многих языках, замечает К.Хорни, слово «человек» означает «мужчина». Мужчина более важен в современной цивилизации, потому что она основана на силе. И стремление женщин к равенству стимулирует в них комплекс маскулинности (мужественности).

По К.Хорни, психологические различия между мужчинами и женщинами следуют из особенностей их биологических ролей. Вклад женщин в воспроизводство и воспитание потомства несравненно больше. Женщины сохраняют свойства вида «хомо сапиенс», поддерживают семейный очаг, передают информацию, более эмоциональны и интуитивны, менее рациональны. Мужчины создают информацию, запрограммированы на поиск, больше нацелены на преобразование среды, более логичны.

Исследование особенностей женской психологии позволило К.Хорни обратить внимание на некоторые проблемы, которые раньше ускользали от внимания ученых: тяжелые душевные состояния, депрессии и т.п. Она выделяет следующие способы защиты от тревоги: любовь, подчинение, дистанцирование от людей, потребление. Именно противоречие между потребностью любить и стремлением к первенству ведет, по мнению К.Хорни, к неврозам.

**Биология
и социум**

Существуют и иные человеческие проблемы, в решении которых способно помочь естествознание, отвечая на следующие вопросы.

1. Действует ли естественный отбор в человеческом обществе и, стало быть, развивается ли человек в биологическом смысле?

2. Как связано биологическое развитие человечества с социальным?

3. Как справиться с внутривидовой агрессивностью людей, которая ведет в эволюционный тупик, но обостряется в связи с победой над природой (и другими видами жизни)?

4. Существует ли опасность сверхспециализации разума, которая делает поведение человеческого общества неразумным; ведет ли разум к отходу от неразумной природы?

5. Как преодолеть опасность, следующую из того, что чем более сложно устроена система, тем больше вероятность ее поломки (у человека психические болезни бывают чаще, чем у животных)?

6. Как связана гениальность с психическими заболеваниями (физиологические изменения в организме зачастую аналогичны в обоих случаях)?

Ответы на эти вопросы еще ждут ученых.

Современное естествознание все ближе подходит к изучению самого сложного, что создала природа, — человека. Насколько оправдано здесь применение естественно-научной методологии и что она может дать? Если признать, что психика и разум связаны с другими сторонами жизни и с остальной природой, то это вполне оправданно, хотя надо отчетливо видеть границы естественно-научного подхода.

Предметом естественно-научного познания человека является все, что относится к его естеству и не обусловлено образованием, культурой и социальным окружением. Сюда относится огромное количество биологических процессов, не специфических для человека. Естествознание изучает биологическую основу социальных действий. В этом особенно преуспела социобиология. Если, скажем, обнаруженный З. Фрейдом комплекс Эдипа генетически детерминирован, то его можно изучать как естественно-научный феномен.

Существует также множество процессов, относительно которых нельзя сказать, социальные они или биологические. Они находятся как бы на стыке биологии и социологии, и естествознание в этом случае вносит свой особый вклад в их целостное понимание.

**Естественно-научное
обоснование
нравственности**

Одним из отличий человека от животных помимо прямохождения, развития руки, способности изготавливать орудия труда, разума, речи является *нравственность*.

Рождение нравственности — важнейший этап антропогенеза — становления человека. «Абстрактное мышление дало человеку господство над всем вневидовым окружением и тем самым спустило с цепи внутривидовой отбор, — считает один из основоположников этологии К. Лоренц. — В “послужной список” такого отбора нужно, наверное, занести и ту гипертрофированную жестокость, от которой мы страдаем и сегодня. Дав человеку словесный язык, абстрактное мышление одарило его возможностью культурного развития, передачи надындивидуального опыта, но это и повлекло за собой настолько резкие изменения в условиях его жизни, что приспособительная способность его инстинктов потерпела крах. Можно подумать,

что каждый дар, достаемый человеку от его мышления, в принципе должен быть оплачен какой-то опасной бедой, которая неизбежно идет следом. На наше счастье, это не так, потому что из абстрактного мышления вырастает и та разумная ответственность человека, на которой только и основана надежда управиться с постоянно растущими опасностями»¹.

Наблюдаемый К. Лоренцом триумфальный крик диких гусей напоминает любовь, которая сильнее смерти; бои между крысиными стаями напоминают кровную месть и войну на уничтожение. Как во многом все-таки человек близок животным — чем больше развивается этология, тем справедливее становится этот вывод. Но и многое явно социальное в человеке тоже досталось ему как компенсация за какие-то биологические недостатки или чрезмерные преимущества перед другими видами. Такой компенсацией является и нравственность.

У опасных хищников (например, волков) есть селективные механизмы, запрещающие убивать представителя своего вида. У неопасных животных (шимпанзе) таких механизмов нет. У человека тоже нет, так как он не имеет «натуры хищника» и «у него нет естественного оружия, принадлежащего его телу, которым он мог бы убивать крупное животное. Именно потому у него нет и тех механизмов безопасности, возникших в процессе эволюции, которые удерживают всех “профессиональных” хищников от применения оружия против сородичей», — пишет К. Лоренц².

«В предыстории человека никакие особенно высокоразвитые механизмы для предотвращения внезапного убийства не были нужны: такое убийство было попросту невозможно»³. «Когда же изобретение искусственного орудия открыло новые возможности убийства — прежнее равновесие между сравнительно слабыми запретами агрессии и такими же слабыми возможностями убийства оказалось в корне нарушено»⁴.

«Таким образом, первая функция, которую выполняла ответственная мораль в истории человечества, состояла в том, чтобы восстановить утраченное равновесие между вооруженностью и врожденным запретом убийства»⁵. «Все проповеди аскетизма, предостерегающие от того, чтобы отпускать узду инстинктивных побуждений, учение о первородном грехе, утверждающее, что человек от рождения порочен, — все это имеет общее рациональное зерно: понимание того, что человек не смеет слепо следовать

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 235.

² Там же. — С. 237.

³ Там же.

⁴ Там же. — С. 238.

⁵ Там же. — С. 244.

своим врожденным наклонностям, а должен учиться властвовать над ними и ответственно контролировать их проявления»¹.

Моральные требования будут расти, но «при всем желании не видно каких-либо селективных преимуществ, которые хоть один человек сегодня мог бы извлечь из обостренного чувства ответственности или их добрых естественных наклонностей. Скорее следует серьезно опасаться, что нынешняя коммерческая организация общества своим дьявольским влиянием соперничества между людьми направляет отбор в прямо противоположную сторону»².

Поскольку у человека нет естественных механизмов убийства себе подобных, у него нет, как у волков, инстинкта, запрещающего убийство представителя своего вида. Но человек выработал искусственные средства уничтожения себе подобных и параллельно развились в нем как средство самосохранения искусственные механизмы, запрещающие убийство представителя своего вида. К таковым относится нравственность, которая является социальным эволюционным механизмом.

Но социальная этика — только первая ступень нравственности. Человек ныне создал искусственные средства, позволяющие ему уничтожить всю планету, что он успешно и делает. Если человек будет продолжать истреблять населяющие Землю виды животных и растений, то в соответствии с основным законом экологии — науки о взаимоотношении живых организмов с окружающей средой — уменьшение разнообразия в биосфере приведет к ослаблению ее устойчивости и в конечном счете к гибели самого человека, который не может существовать вне биосферы. Чтобы этого не произошло, нравственность должна подняться на новый уровень, распространиться на всю природу, т.е. стать экологической этикой, запрещающей уничтожение природы.

Этот процесс можно назвать углублением нравственности, так как *критерием нравственности является совесть*, находящаяся в глубине человеческой души, и, стараясь прислушаться к этому внутреннему голосу, человек как бы погружается в самого себя. Соответственно появилось понятие «глубинная экология», которая призывает человека к более бережному отношению к природе с позиций экологической этики, распространяющей моральные принципы на взаимоотношения человека с природой.

Экология углубляется в область нравственного. Модель «расширяющегося сознания» также имеет очевидное экологическое значение, что позволило говорить о расширении сознания в «глубинной экологии».

¹ Лоренц К. Агрессия. — М., 1994. — С. 246.

² Там же. — С. 246—247.

Итак, расширяющаяся Вселенная и расширяющееся сознание — это не случайные параллели. Развитие Вселенной ведет к социальным изменениям — таков один из выводов, а именно этический, из современных концепций естествознания.

Вопросы для повторения

1. Как изучает человека естествознание?
2. Что значит, что человек — биосоциальное существо?
3. Когда на Земле появился человек?
4. Каковы сходства и различия между человеком и животными?
5. Чем различаются «человек умелый», «человек прямоходящий», неандерталец и «человек разумный»?
6. Какие отличия человека от животных в наибольшей степени повлияли на становление и развитие науки?
7. Что такое разум и речь?
8. С чем связано использование понятий «человек умелый» и «человек разумный»?
9. Что значит изготавливать орудия и трудиться?
10. Благодаря чему первобытный человек мог сосуществовать с окружающей средой?
11. Что изучает социобиология?
12. Что говорит социобиология о генетической детерминации социального поведения человека?
13. Что такое гены эгоизма и гены альтруизма?
14. Что может сказать этология о поведении человека?
15. Какова концепция эволюции этносов Л. Н. Гумилева?
16. Что такое этнос?
17. Что такое экология в широком смысле слова?
18. Чем социальная экология отличается от глобальной экологии и экологии человека?
19. В чем смысл концепции ноосферы?
20. Каков научный статус этой концепции?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что в человеке естественно, а что искусственно?
2. Что такое природа человека?
3. Что такое понятийное мышление?
4. Что изучает антропология?
5. Каковы этапы эволюции культуры?
6. В чем их отличия друг от друга?
7. Что внесла социобиология в изучение человека?
8. Что внесла этология в изучение человека?
9. Кто такие пассионарии? В чем их значение в развитии этноса?
10. Какие основные этапы проходит эволюция этноса, по Л. Н. Гумилеву?

11. В чем разница между глобальной экологией, социальной экологией и экологией человека?

12. Какие достижения естествознания помогли обосновать концепцию ноосферы? Почему она так называется?

13. Каковы психологические особенности мужчин и женщин и от чего они зависят?

14. Каково естественно-научное обоснование нравственности?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Ты убил быка и выпустил Смерть в джунгли, а вместе со Смертью пришел Страх, и потому Народы Джунглей теперь боятся один другого» (Р. Киплинг).

«У людей нет ни когтей, ни зубов, оттого они и делают вот такие штуки и даже хуже» (о бодиле для слонов. — А. Г.) (Р. Киплинг).

«Засыхает трава, увядает цвет, когда дунет на него дуновение Господа: так и народ — трава» (Книга пророка Исайи: 40; 7).

«Таким образом, одним из необходимых условий для возможности правильного психического взаимодействия является наличие одинакового проявления одинаковых психических переживаний различными членами группы» (П. Сорокин).

«Более чем вероятно, что пагубные проявления человеческого агрессивного инстинкта, для объяснения которых Зигмунд Фрейд предложил особый инстинкт смерти, основанный просто-напросто на том, что внутривидовой отбор в далекой древности снабдил человека определенной мерой агрессивности, для которой он не находит адекватного выхода при современной организации общества» (К. Лоренц).

«Нынешняя коммерческая конкуренция грозит вызвать по меньшей мере такую же ужасную гипертрофию упомянутых побуждений, какую у внутривидовой агрессии вызвало военное состязание людей каменного века. Счастье лишь в том, что выигрыш богатства и власти не ведет к многочисленности потомства» (К. Лоренц).

III. Прокомментируйте схемы.

1. Происхождение человека

Мутации в местах скопления урановых руд, труд и естественный отбор:

«Человек умелый»	5,5 млн лет назад
«Человек прямоходящий»	1 — 0,5 млн лет назад
«Неандерталец»	150 — 40 тыс. лет назад
«Человек разумный»	40 — 15 тыс. лет назад

2. Гипотеза происхождения человека Б. Ф. Поршнева

Раздражители → безусловный рефлекс → дополнительный раздражитель → условный рефлекс (по И. П. Павлову) → тормозная динамика (по А. А. Ухтомскому) → неадекватный рефлекс (через перевозбуждение тормозной доминанты) → интердикция через внушение (передача неадекватного рефлекса) → имитация (имитативный рефлекс) → активное внушение (суггестия) → слово как интердикция и торможение рефлексов и раздражителей (контрсуггестия)

Разъяснения к схеме

«Интердикция I: генерализованный тормоз, т.е. некий единственный сигнал (не обязательно думать, что он звуковой: вероятнее, что это движение руки), тормозящий у другой особи, вернее, у других особей, любое иное поведение, кроме имитации этого сигнала. Интердикция II: некий сигнал, специально тормозящий этот генерализованный тормоз (интердикцию I), вызывая имитацию на себя, т.е. провоцируя ту деятельность, которая служит тормозной доминантой для действия интердикции I (Б.Ф.Поршнев).

3. Сходства и различия между человеком и животными

Сходства:

- способность испытывать все чувства (любопытство, внимание, память, воображение, подражание, радость, тоску, любовь и т.д.);
- сходство в строении и функциях тела;
- сходство генетического аппарата;
- сходство признаков зародыша и его развития;
- наличие рудиментарных (унаследованных от животных) органов (аппендикс).

Отличия:

- разум (абстрактное понятийное мышление);
- речь (слово);
- прямохождение, освобождение и развитие руки;
- способность создавать орудия, труд и общественное производство;
- использование огня;
- захоронение трупов;
- сложные и разнообразные формы адаптации к социальной жизни.

4. Эволюция этносов

Пассионарный толчок → появление пассионариев →
новый этнос → динамичная (завоевательная) фаза развития →
→ переход в нормальное состояние → фаза затухающих колебаний →
→ гомеостаз → гибель через 1 200 лет под влиянием собственного
разложения и/или нашествия других этносов

5. Психические различия между мужчинами и женщинами

<i>Мужчины</i>	<i>Женщины</i>
Большая роль в становлении нового	Большая роль в воспроизводстве
Большая роль в изменении среды	Сохранение и поддержание очага
Большая «норма реакции»	Меньшая «норма реакции»
Более логичны и абстрактны	Более интуитивны и конкретны
Более рациональны	Более эмоциональны и чувствительны
Более способны на сверхусилия	Более устойчивы и выносливы
Более жесткая психика	Более лабильная психика
Большая роль в приобретении информации	Большая роль в сохранении и передаче информации
Большая роль в развитии вида	Большая роль в сохранении вида
Более высокий творческий потенциал	Более консервативны

6. Этапы становления ноосферы

Геогенез (молекулы) → биогенез (клетки) → психогенез
(нервная система) → ноогенез (ноосфера) → точка Омега

Литература

Брей У., Трамп Д. Археологический словарь. — М., 1990.

Тойнби А. Постижение истории. — М., 1991.

Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере // Русский космизм. — М., 1993.

Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. — М., 1992.

Лоренц К. Человек находит друга. — М., 1971.

Тейяр де Шарден П. Феномен человека. — М., 1987.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

**Значение
кибернетики**

Кибернетика (от греч. *kybernētika* — искусство управления) — это наука об управлении сложными системами с обратной свя-

зью. Она возникла на стыке математики, техники и нейрофизиологии. Предмет ее изучения — целый класс систем, как живых, так и неживых, в которых существует механизм обратной связи. Основателем кибернетики по праву считается американский математик Н. Винер (1894—1964), выпустивший в 1948 г. книгу, которая так и называлась «Кибернетика».

Оригинальность этой науки заключается в том, что она изучает не вещественный состав систем и не их структуру (строение), а результат работы данного класса систем. В кибернетике впервые было сформулировано понятие «черного ящика» как устройства, внутреннее строение которого нам не известно, но результат воздействия на который может быть отслежен.

Системы изучаются в кибернетике по их реакциям на внешние воздействия, другими словами, по тем функциям, которые они выполняют. Наряду с субстратным (вещественным) и структурным подходом кибернетика ввела в научный обиход функциональный подход как еще один вариант системного подхода в широком смысле слова.

«Если XVII столетие и начало XVIII столетия — век часов, а конец XVII и все XIX столетие — век паровых машин, то настоящее время есть век связи и управления»¹. В изучение этих процессов кибернетика внесла значительный вклад. Она исследует способы связи и модели управления. В этом ей понадобилось еще одно понятие, которое было известно давно, но впервые получило фундаментальный статус в естествознании. Это понятие «информация» (от лат. *informatio* — ознакомление, разъяснение), обозначающее меру организованности системы в противоположность понятию «энтропия» как меры неорганизованности.

Чтобы значение информации стало яснее, рассмотрим деятельность идеального существа, получившего название «демон Максвелла». Идею такого существа, нарушающего второе начало тер-

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 90.

модинамики, Дж. Максвелл изложил в «Теории теплоты», вышедшей в 1871 г. «Когда частица со скоростью выше средней подходит к дверце из отделения А или частица со скоростью ниже средней подходит к дверце из отделения В, привратник открывает дверцу и частица проходит через отверстие; когда же частица со скоростью ниже средней подходит из отделения А или частица со скоростью выше средней подходит из отделения В, дверца закрывается. Таким образом, частицы большей скорости сосредотачиваются в отделении В, а в отделении А их концентрация уменьшается. Это вызывает очевидное уменьшение энтропии, и если соединить оба отделения тепловым двигателем, мы, как будто, получим вечный двигатель второго рода»¹.

Может ли действовать «демон Максвелла»? Да, если он получает от приближающихся частиц информацию об их скорости и точке удара о стенку. Это дает возможность связать информацию с энтропией. Возможно, в живых системах действуют аналоги таких «демонов». На это могут претендовать, к примеру, ферменты. Понятие информации имеет такое большое значение, что оно вошло в заглавие нового научного направления, возникшего на базе кибернетики, — информатики. Название этого направления произошло из соединения слов «информация» и «математика».

Кибернетика выявляет зависимости между информацией и другими характеристиками систем. Работа «демона Максвелла» позволяет установить обратно пропорциональную зависимость между информацией и энтропией. С повышением энтропии уменьшается и информация (поскольку все усредняется), и наоборот, понижение энтропии увеличивает информацию. Связь информации с энтропией свидетельствует и о связи информации с энергией.

Энергия (от греч. *energeia* — деятельность) характеризует общую меру различных видов движения и взаимодействия в механической, тепловой, электромагнитной, химической, гравитационной и ядерной формах. Информация характеризует меру разнообразия систем. Эти два фундаментальных параметра системы (наравне с ее вещественным составом) относительно обособлены друг от друга. Точность сигнала, передающего информацию, не зависит от количества энергии, которая используется для передачи сигнала. Тем не менее энергия и информация связаны между собой. Н. Винер приводит такой пример: «Кровь, оттекающая от мозга, на долю градуса теплее, чем кровь, притекающая к нему»².

Информация растет с повышением разнообразия системы, но на этом ее связь с разнообразием не кончается. Одним из

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 112.

² Там же. — С. 201.

основных законов кибернетики является закон «необходимого разнообразия». В соответствии с ним эффективное управление какой-либо системой возможно только в том случае, если разнообразие управляющей системы больше разнообразия управляемой системы. Учитывая связь между разнообразием и управлением, можно сказать, что чем больше мы имеем информации о системе, которой собираемся управлять, тем эффективнее будет этот процесс.

Значение кибернетики признано в разных сферах.

Она имеет **философское значение**, поскольку дает новое представление о мире, основанное на роли связи, управления, информации, организованности, обратной связи, целесообразности, вероятности.

Социальное значение кибернетики заключается в том, что она дает новое представление об обществе как организованном целом. О пользе кибернетики для изучения общества немало было сказано уже в момент возникновения этой науки.

Общенаучное значение кибернетика имеет, во-первых, потому, что дает общенаучные понятия, которые оказываются важными в других областях науки («управление», «сложнодинамическая система» и т. п.); во-вторых, потому, что дает науке новые методы исследования (вероятностные, стохастические, моделирования на ЭВМ и т. д.); в-третьих, потому, что на основе функционального подхода «сигнал — отклик» она формирует гипотезы о внутреннем составе и строении систем, которые затем могут быть проверены в процессе содержательного исследования. Например, в кибернетике выработано правило (впервые для технических систем), в соответствии с которым для того чтобы найти ошибку в работе системы, необходима проверка работы трех одинаковых систем. По работе двух находят ошибку в третьей. Возможно, так действует и мозг.

Методологическое значение кибернетики определяется тем обстоятельством, что изучение функционирования более простых технических систем используется для выдвижения гипотез о механизме работы качественно более сложных систем (живых организмов, мышления человека) с целью познания происходящих в них процессов — воспроизводства жизни, обучения и т. п. Подобное кибернетическое моделирование особенно важно в настоящее время во многих областях науки, поскольку отсутствуют математические теории процессов, протекающих в сложных системах, и приходится ограничиваться их простыми моделями.

Наиболее известно **техническое значение** кибернетики — на основе кибернетических принципов созданы электронно-вычислительные машины, роботы, персональные компьютеры, что породило тенденцию кибернетизации и информатизации не только научного познания, но и всех сфер жизни.

Понятие обратной связи

Если ударить по бильярдному шару, то он полетит в том направлении, в котором его направили, и с той скоростью, с которой он послан. Полет брошенного камня тоже соответствует нашему желанию, если ничего не препятствует этому. Сам камень совершенно нейтрален по отношению к нам. Он не оказывает сопротивления, если не считать силу инерции.

Совсем иным будет поведение кошки, которая активно реагирует на воздействие. Если поведение объекта (поведением будем называть любое изменение объекта по отношению к окружающей среде) зависит от воздействия на него, то говорят, что в такой системе имеется **обратная связь** между воздействием и реакцией на него.

Когда поведение системы усиливает внешнее воздействие, говорят о *положительной обратной связи*, когда же оно уменьшает внешнее воздействие, говорят об *отрицательной обратной связи*. Особый случай представляют *гомеостатические обратные связи*, которые сводят внешнее воздействие к нулю (пример: температура тела человека, которая остается постоянной благодаря гомеостатическим обратным связям). Таких механизмов в живом теле огромное количество. Свойство системы, остающееся без изменений в потоке событий, называется **инвариантом системы**.

В широком смысле понятие обратной связи «означает, что часть выходной энергии аппарата или машины возвращается на вход... Положительная обратная связь прибавляется к входным сигналам, она не корректирует их. Термин «обратная связь» применяется также в более узком смысле для обозначения того, что поведение объекта управляется величиной ошибки в положении объекта по отношению к некоторой специфической цели»¹.

В любом нашем движении с определенной целью участвуют механизмы обратной связи. Мы не замечаем их действия, потому что они включаются автоматически. Но иногда мы пользуемся ими сознательно. Скажем, один человек предлагает место встречи, а другой повторяет: да, мы встречаемся там-то и во столько-то. Это обратная связь, делающая договоренность более надежной. Механизм обратной связи призван сделать систему более устойчивой, надежной и эффективной. Он делает систему принципиально иной, повышая степень ее внутренней организованности и давая возможность говорить о самоорганизации в данной системе.

Итак, все системы можно разделить на системы с обратной связью и без обратной связи. Наличие механизма обратной связи позволяет сделать заключение о том, что система преследует какие-то цели, т. е. что ее поведение целесообразно.

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 288.

**Понятие
целесообразности**

Активное поведение системы считается целесообразным, если «действие или поведение допускает истолкование как направленное на достижение некоторой цели, т. е. некоторого конечного состояния, при котором объект вступает в определенную связь в пространстве или во времени с некоторым другим объектом или событием. Нецеленаправленным (случайным) поведением является такое, которое нельзя истолковать подобным образом»¹.

Для обозначения машин с внутренне целенаправленным поведением был специально введен термин «сервомеханизмы». Примером такой машины служит торпеда, снабженная механизмом поиска цели. Всякое целенаправленное поведение требует отрицательной обратной связи. Оно может быть предсказывающим или непредсказывающим. Предсказание может быть 1-го, 2-го и последующих порядков в зависимости от того, на сколько параметров распространяется предсказание. Чем больше этих порядков, тем совершеннее система.

Понятие целесообразности претерпело длительную эволюцию в истории человеческой культуры. Во времена господства мифологического мышления деятельность любых, в том числе неживых, тел могла быть признана целесообразной на основе антропоморфизма, т. е. приписывания явлениям природы причин по аналогии с деятельностью человека. Философ Аристотель в числе причин функционирования мира наряду с материальной, формальной, действующей назвал и целевую. Религиозное понимание целесообразности основывается на представлении о том, что Бог создал мир с определенной целью, и, стало быть, мир в целом целесообразен.

Научное понимание целесообразности строилось на обнаружении в изучаемых предметах объективных механизмов целеполагания. В Новое время наука изучала простые системы, поэтому она скептически относилась к понятию цели. Положение изменилось в XX в., когда естествознание перешло к изучению сложных систем с обратной связью, так как именно в таких системах существует внутренний механизм целеполагания. Наука, которая первой начала исследование подобных систем, получила название кибернетики.

**ЭВМ
и персональные
компьютеры**

Точно так же, как разнообразные машины и механизмы облегчают физический труд людей, ЭВМ (электронно-вычислительные машины) и персональные компьютеры облегчают их умственный труд, заменяя человеческий мозг при выполнении простых задач. ЭВМ действуют по принципу «да — нет». Они хотя и уступают человеческому мозгу в гибкости, но превосходят его по скорости выполнения вычислительных операций. Аналогия между ЭВМ и мозгом человека до-

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 286.

полняется тем, что ЭВМ как бы выполняют роль центральной нервной системы для устройств автоматического управления.

Понятие «самообучающиеся машины» аналогично воспроизводству живых систем. И то и другое есть созидание себя (в себе и в другом). Обучение онтогенетически есть то же, что и самовоспроизводство филогенетически.

Как бы ни протекал процесс воспроизводства, он является динамическим процессом, включающим какие-то силы или их эквиваленты. «Один из возможных способов представления этих сил состоит в том, чтобы поместить активный носитель специфики молекулы в частотном строении ее молекулярного излучения, значительная часть которого лежит, по-видимому, в области инфракрасных электромагнитных частот или даже ниже. Может оказаться, что специфические вещества вируса при некоторых обстоятельствах излучают инфракрасные колебания, которые обладают способностью содействовать формированию других молекул вируса из неопределенной магмы аминокислот и нуклеиновых кислот. Вполне возможно, что такое явление позволительно рассматривать как некоторое притягательное взаимодействие частот»¹.

Такова гипотеза воспроизводства Н. Винера, предлагающая единый механизм самовоспроизводства для живых и неживых систем.

Современные ЭВМ значительно превосходят те, которые появились на заре кибернетики. Еще 10 лет назад специалисты сомневались, что шахматный компьютер когда-нибудь сможет обыграть приличного шахматиста, но теперь он практически на равных сражается с чемпионом мира. Громадная скорость перебора вариантов (100 млн в секунду против 2 вариантов в секунду у человека) остро ставит вопрос не только о возможностях ЭВМ, но и о том, что такое человеческий разум.

Предполагалось, что ЭВМ будут с годами все более мощными и массивными, но, вопреки прогнозам крупнейших ученых, были созданы персональные компьютеры, которые стали атрибутом нашей жизни. В перспективе нас ждет всеобщая компьютеризация и создание человекоподобных роботов.

Однако следует иметь в виду, что человек не только логически мыслящее, но и творческое существо. Способность творить — результат всей предшествующей эволюции. Если же будут построены человекоподобные роботы, превосходящие человека по уму, то это повод не только для радости, но и для беспокойства, связанного как с роботизацией самого человека, так и с проблемой возможного выхода роботов из-под контроля людей и даже поражения ими человека. Конечно, пока это не более, чем далекая от реальности фантастика.

¹ Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 281—282.

Модели мира

Благодаря кибернетике и созданию ЭВМ одним из основных способов познания, наравне с наблюдением и экспериментом, стал *метод моделирования*. Применяемые модели становятся все более масштабными. Так, наряду с моделями функционирования предприятия и экономической отрасли появляются комплексные модели управления биосферой, эколого-экономические модели рационального природопользования в пределах целых регионов, глобальные модели.

В 1972 г. на основе метода «системной динамики» Дж. Форрестера были построены первые так называемые «модели мира», нацеленные на выработку сценариев развития всего человечества в его взаимоотношении с биосферой. Их недостатки заключались в чрезмерно высокой степени обобщения переменных, характеризующих процессы, протекающие в мире, в отсутствии данных об особенностях и традициях различных культур и т. д. Однако это направление оказалось многообещающим. Постепенно указанные недостатки преодолевались в процессе создания последующих глобальных моделей, которые принимали все более конструктивный характер, ориентируясь на рассмотрение вопросов улучшения существующего эколого-экономического положения на планете.

М. Месаровичем и Э. Пестелем были построены глобальные модели на основе теории иерархических систем, а В. Леонтьевым — на основе разработанного им в экономике метода «затраты — выпуск». Дальнейший прогресс в глобальном моделировании ожидается на путях построения моделей, все более адекватных реальности, сочетающих в себе глобальный, региональный и локальный моменты.

Споры относительно эффективности применения кибернетических моделей в глобальных исследованиях не умолкают и поныне. Создатель метода системной динамики Дж. Форрестер выдвинул так называемый «контринтуитивный принцип», в соответствии с которым функционирование сложных систем принципиально противоречит человеческой интуиции, и, стало быть, машины могут дать более точный прогноз поведения этих систем, чем человек. Другие исследователи считают, что «контринтуитивное поведение» свойственно тем системам, которые находятся в критической ситуации.

Трудности формализации многих важных данных, необходимых для построения глобальных моделей, а также ряд других моментов свидетельствуют о том, что значение машинного моделирования не следует абсолютизировать. Моделирование может принести наибольшую пользу в том случае, если будет сочетаться с другими видами исследований.

Простираясь на изучение все более сложных систем, метод моделирования становится необходимым средством как познания,

так и преобразования действительности. В настоящее время можно говорить о *преобразовательной функции* моделирования, позволяющей оптимизировать сложные системы.

Эта функция способствует уточнению целей и средств реконструкции реальности. Свойственная моделированию *трансляционная функция* способствует синтезу знаний — задаче, имеющей первостепенное значение на современном этапе изучения мира.

Прогресс в области моделирования следует ожидать не на пути противопоставления одних типов моделей другим, а на пути их синтеза. Универсальный характер моделирования на ЭВМ дает возможность синтеза самых разнообразных знаний, а свойственный этому виду моделирования функциональный подход служит целям управления сложными системами.

Вопросы для повторения

1. Что изучает кибернетика?
2. Каково значение информации, слова?
3. Что такое положительная и отрицательная обратная связь?
4. Что такое функциональный подход и чем он отличается от вещественного и структурного?
5. Что такое «черный ящик» в кибернетике?
6. Каковы результаты исследований «моделей мира»?
7. Может ли машина мыслить?
8. Каково донаучное, научное и теологическое понимание целесообразности?
9. Есть ли цель у камня, животного, компьютера, человека, эволюции?

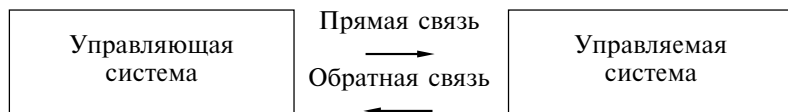
Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. В чем разница между целесообразной деятельностью человека и животных?
2. Каков критерий целесообразности с научной точки зрения?
3. Каково соотношение закона развития и целесообразности?
4. Что представляют собой целесообразные системы?
5. Солнце всходит и заходит целесообразно?
6. Каковы сходства и различия между созданными моделями мира?
7. Что такое объективная и субъективная информация?
8. Что такое прямая и обратная связь?
9. Что такое гомеостат, «черный ящик», функция и функциональный подход?
10. Что такое Интернет?
11. Почему будущее общество предлагают назвать информационным?

II. Прокомментируйте схему.

Схема управления



Литература

Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968.

Винер Н. Я — математик. — М., 1967.

Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Берне В. В. Пределы роста. — М., 1991.

Эшби У. Р. Введение в кибернетику. — М., 1959.

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ПСИХИКИ**Изучение мозга
человека**

Некоторые из современных наук имеют вполне законченный вид, другие интенсивно развиваются или находятся в стадии становления. Это вполне понятно, так как наука эволюционирует, как и природа, которую она изучает. Одной из перспективных областей естествознания является изучение человеческого мозга и связи психических процессов с физиологическими.

Изучение высшей нервной деятельности возможно физическими, химическими методами, методом гипноза и т. п. Среди тем, интересных с естественно-научной точки зрения, можно выделить: непосредственное воздействие на мозговые центры, опыты с наркотиками (в особенности с ЛСД), кодирование поведения на расстоянии.

Цель изучения мозга — понять механизмы поведения и научиться ими управлять. Знания о процессах, происходящих в мозгу, необходимы для лучшего использования умственных способностей и достижения психологического комфорта.

Что же известно о деятельности мозга? Еще в XIX в. выдающийся русский физиолог И. М. Сеченов писал, что физиология располагает данными о родстве психических явлений с нервными процессами в теле. Благодаря И. П. Павлову стало доступно изучение всех функций головного мозга, включая сознание и память, физиологическими методами.

Мозг рассматривается как центр управления, состоящий из нейронов, проводящих путей и синапсов. В мозгу человека 10^{11} связанных между собой нейронов.

Ныне существуют технические возможности экспериментального исследования мозга. На это нацелен метод электрического раздражения, посредством которого изучаются отделы мозга, ответственные за память, решение задач, распознавание образов и т. п., причем воздействие может быть дистанционным. Можно искусственно вызывать мысли и эмоции — вражды, страха, тревоги, наслаждения, иллюзию узнавания, галлюцинации, навязчивые идеи.

Современная техника может в буквальном смысле сделать человека счастливым, воздействуя непосредственно на центры удовольствия в мозгу.

Исследования дали возможность прийти к следующим выводам:

- ни один поведенческий акт невозможен без возникновения на клеточном уровне отрицательных потенциалов, которые сопровождаются электрическими и химическими изменениями и деполяризацией мембраны;

- процессы в мозгу могут быть возбуждающими и тормозящими;

- память подобна звеньям цепи и можно, потянув за одно, вытянуть очень много информации; так называемая психическая энергия представляет собой сумму физиологической активности мозга и получаемой извне информации; роль воли сводится к тому, чтобы привести в действие уже сложившиеся механизмы.

К достижениям нейрофизиологии можно отнести и обнаружение асимметрии в функционировании головного мозга. Профессор Калифорнийского технологического института Р.Сперри в начале 50-х гг. XX в. доказал функциональное различие полушарий мозга при почти полной идентичности их анатомии.

Левое полушарие — аналитическое, рациональное, последовательно действующее, более агрессивное, активное, ведущее, управляющее двигательной системой. *Правое полушарие* — синтетическое, целостное, интуитивное, не может выразить себя в речи, но управляет зрением и распознаванием форм. И. П. Павлов говорил, что всех людей можно разделить на художников и мыслителей. У первой группы доминирует правое, у второй — левое полушарие.

Более ясное представление о механизмах центральной нервной системы способствует решению проблемы стресса. Стресс — понятие, характеризующее, по Г.Селье, скорость изнашивания человеческого организма. Он связан с деятельностью неспецифического защитного механизма сопротивления внешним факторам. Синдром стресса «проходит три стадии: 1) “реакция тревоги”, во время которой мобилизуются защитные силы; 2) стадия устойчивости, выражающая полную адаптацию к стрессору; 3) стадия истощения, которая неумолимо наступает, когда стрессор оказывается достаточно силен и действует достаточно долгое время, поскольку “адаптационная энергия”, или приспособляемость живого существа, всегда конечна»¹.

Многое в деятельности мозга остается неясным. Электрическое раздражение двигательной зоны коры головного мозга не способно вызвать точных и ловких движений, присущих человеку, следовательно, существуют более тонкие и сложные механизмы, ответственные за движение. В связи с отсутствием убедительной физико-химической модели сознания неизвестно, что такое сознание как функциональная сущность и что такое мысль как про-

¹ Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987. — С. 71—72.

дукт сознания. Можно лишь заключить, что сознание — результат особой организации, сложность которой создает новые, так называемые эмерджентные свойства, которых нет у составных частей системы.

Спорен вопрос и о начале сознания. Согласно одной из точек зрения до рождения человека существует план сознания, но не готовое сознание. «Развитие мозга, — считает Х. Дельгадо, — определяет отношение индивидуума к окружающему еще до того, как индивидуум становится способным воспринимать сенсорную информацию об окружающем. Следовательно, инициатива остается за организмом»¹. Существует «опережающее морфологическое созревание»: еще находясь в утробе матери, у ребенка поднимаются и опускаются веки. Но новорожденные лишены сознания и лишь приобретенный опыт ведет к узнаванию предметов. Реакции новорожденных столь примитивны, что их вряд ли можно рассматривать как признаки сознания. Да и мозг при рождении еще далеко не сформирован. Стало быть, человек по сравнению с другими животными рождается менее развитым и ему требуется определенный постнатальный период роста. Если инстинктивная деятельность может существовать даже при отсутствии опыта, то психическая — никогда.

Недостаточность сенсорного притока отрицательно влияет на физиологическое развитие ребенка. *Способность понимать видимое не является врожденным свойством мозга. Мышление не развивается само по себе.* Формирование личности, по мнению Ж. Пиаже, заканчивается в три года, но деятельность мозга зависит от сенсорной информации, получаемой в течение всей жизни. «Животным и людям нужна новизна и непрерывный поток разнообразных раздражителей из внешней среды»². Резкое уменьшение поступления сенсорной информации, как показали эксперименты, приводит к возникновению через несколько часов галлюцинаций и бреда.

Вопрос о том, насколько непрерывный сенсорный поток определяет сознание человека, столь же сложен, как и вопрос о соотношении интеллекта и чувств. Еще Б. Спиноза считал, что «человеческая свобода, обладанием которой все хвалятся», не отличается от возможностей камня, который «получает определенное количество движения от какой-нибудь внешней причины»³. Эту точку зрения пытаются обосновать современные бихевиористы. То, что сознание может резко меняться под влиянием внешних причин (причем и в сторону усиления предвидения и образования новых свойств и способностей), доказывает поведение людей, получивших тяжелые травмы черепа. Косвенное (например,

¹ Дельгадо Х. Мозг и сознание. — М., 1971. — С. 45—46.

² Там же. — С. 66—67.

³ Спиноза Б. Избр. произв.: в 2 т. — М., 1957. — Т. 2. — С. 592.

средствами рекламы) и прямое (оперативное) воздействие на сознание приводит к кодированию.

Наибольший интерес представляют три направления нейрофизиологии: влияние на сознание посредством раздражения определенных центров мозга с помощью психотропных и иных средств; оперативное и медикаментозное кодирование; изучение необычных свойств сознания и их влияния на социум. Эти важные направления исследований зачастую засекречиваются, так как их результаты могут быть использованы в антигуманных целях.

Психоанализ

Все направления изучения психики человека, которые занимаются выявлением роли бессознательного, относятся к естествознанию настолько, насколько они отвлекаются от гуманитарных аспектов исследования. Таков по преимуществу психоанализ, основатель которого — З.Фрейд — утверждал, что каждый отдельный индивид виртуально является врагом культуры. По мнению З.Фрейда, «как бы мало ни были способны люди к изолированному существованию, они тем не менее ощущают жертвы, требуемые от них культурой ради возможности совместной жизни, как гнетущий груз»¹.

По З.Фрейду, сначала возник первобытный человек, затем культура как система запретов, которые сам же человек стремится нарушить, так как в основе его психической деятельности лежат сексуальное влечение и инстинкты. Лишения, вводимые культурными запретами, затрагивают всех, но страдающие от них импульсивные желания заново рождаются с каждым ребенком и проявляются в нервных заболеваниях. Речь идет о желаниях инцеста, каннибализма и т.п., которые подавляются, чтобы преодолеть опасность всеобщего самоистребления.

Выводя культуру из инстинктов, З.Фрейд пытался определить, как из последних вырастают ценности, например религиозные. «Мы уже знаем, что пугающее ощущение детской беспомощности пробудило потребность в защите — любящей защите, и эту потребность в защите помог удовлетворить отец; сознание, что та же беспомощность продолжается в течение всей жизни, вызывает веру в существование какого-то, теперь уже более могущественного отца. Добрая весть божественного провидения смягчает страх перед жизненными опасностями, постулирование нравственного миропорядка обеспечивает торжество справедливости, чьи требования так часто остаются внутри человеческой культуры неисполненными, продолжение земного существования в будущей жизни предлагает пространственные и временные рамки, внутри которых надо ожидать исполнения этих желаний»². Религиозные веро-

¹ Фрейд З. Будущее одной иллюзии // Сумерки богов. — М., 1989. — С. 95.

² Там же. — С. 118.

вания приносят гигантское облегчение человеческой психике и помогают преодолеть эдипов комплекс, возникающий в возрасте 3—5 лет и заключающийся в бессознательном влечении к родителю противоположного пола и ревности со страхом к родителю того же пола (от греческого мифа об Эдипе, который убивает своего отца и женится на собственной матери). Религиозное чувство Фрейд выводит из биологического отношения «отец — сын». Бог аналогичен отцу. Религия для З. Фрейда — повторение детского опыта поиска защиты у отца.

Совокупность инстинктивных влечений З. Фрейд называет «Оно» и отличает от него «Я» (сознание, отделившееся от «Оно» в процессе эволюции с целью адаптации во внешней среде) и «Сверх-Я» (совокупность норм и предписаний, выполняющих роль «цензуры» по отношению к «Я»). Под воздействием «Сверх-Я» происходит **сублимация** — трансформация эмоций, энергии инстинктов (прежде всего либидо — сексуального влечения) в социально приемлемые формы, например творчество. При этом большое значение имеет **вытеснение** нежелательных представлений в подсознание. Поскольку они сохраняют всю свою энергию, то стремятся вернуться, но сознание оказывает сопротивление, и человек испытывает страх, чувство вины, муки совести. Стыд, отвращение, мораль удерживают желания в состоянии вытеснения. Появляется **комплекс** — подавленное эмоциональное содержание психики, которое вызывает постоянное психологическое раздражение.

Лечение в психоанализе основывается на понимании того, что человек болеет истерией или неврозом потому, что какие-то его, часто детские, представления, вытесненные «Сверх-Я» в подсознание, пытаются, но безуспешно, пробиться в сознание. Психоанализ пытается выявить эти вытесненные представления. Если вспомнить, при каких условиях симптомы болезни проявились впервые, больному становится легче. Рассказав о психической травме, он излечивается.

З. Фрейд приводит такую аналогию. Я выгоняю кого-то из аудитории, а он продолжает шуметь за дверью. Больной — это человек, который не смог вытеснить свои желания. Тогда лучше договориться и впустить их с тем, чтобы они больше не мешали. В этом и состоит метод психоанализа. Иначе вытеснение может послать в аудиторию своего **заместителя**, от которого больной будет страдать. Этот заместитель и есть симптом. Необходимо осознать свое желание и направить его на высокую, не вызывающую сомнений цель. Так понимает сублимацию З. Фрейд.

«Чем сильнее искажение под влиянием сопротивления, тем меньше сходства между возникающей мыслью — заместителем вытесненного и самим вытесненным»¹. Сон, при котором ослаб-

¹ Фрейд З. Психология бессознательного. — М., 1989. — С. 361—362.

ляется сознательная деятельность, предстает как исполнение вытесненных из сознания желаний. «Явное содержание сновидений есть искаженный заместитель бессознательных мыслей, и это самое искажение есть дело защитных сил “Я”, т.е. сопротивлений, которые в бодрствующем состоянии вообще не допускают вытесненные желания бессознательного в область сознания... Страх есть одна из реакций отстранения нашим “Я” могущественных вытесненных желаний, а потому легко объясним и в сновидениях»¹. Сознательное, по З. Фрейду, — не сущность психического, а только одно из его качеств, поверхностный слой душевного аппарата. «“Я” олицетворяет то, что можно назвать разумом и рассудительностью, в противоположность “Оно”, содержащему страсти». «Я» можно сравнить с всадником, а «Оно» — с лошадью. В эволюции человеческой психики постепенно усиливается «Сверх-Я», поэтому внешнее принуждение требуется все меньше.

З. Фрейд показал, что недостаточность социальных контактов и особенно их исчезновение («потеря любви») относится к числу факторов, благоприятствующих агрессии, что подтверждено этологией. В то же время он полагал, что в человеке действуют две основные силы (аналогично физическим силам притяжения и отталкивания) — влечение к жизни и влечение к смерти. С этим не согласился К. Лоренц. Для него инстинкта смерти не может быть, потому что он небиологичен, а то, что так интерпретируется, является лишь искажением инстинкта агрессии. Разногласие между З. Фрейдом и К. Лоренцом можно разрешить, предположив, что инстинкт смерти существует только у человека, поскольку он осознает свою смертность. Это подтверждает и то, что только человек хоронит своих сородичей.

Психоанализ близок к естествознанию, поскольку основывается на приоритете естественных, а не культурных феноменов, связывая вторые с первыми. Естественно-научное значение психоанализа заключается в попытке объяснения деятельности сознания особенностями функционирования бессознательного и сведением последнего к немногим основным инстинктам. Посылка о детерминации сознания бессознательным, хотя и не содержит достаточного естественно-научного подтверждения, привлекает к себе большое внимание.

Аналитическая психология

З. Фрейд шел от детства индивида, его ученик К. Юнг, назвавший свое направление аналитической психологией, — от первобытной культуры. По мнению К. Юнга,

сферу бессознательного составляют не только желания человека, но и все коллективные *архетипы*, которые присущи человеку.

¹ Фрейд З. Психология бессознательного. — М., 1989. — С. 365—367.

Архетипы — это базовые схемы. «То, что мы называем инстинктами, является физиологическим побуждением и постигается органами чувств. Но в то же самое время инстинкты проявляют себя в фантазиях и часто обнаруживают свое присутствие только посредством символических образов. Эти проявления я и назвал архетипами»¹, — писал К. Юнг в работе «Архетип и символ». «Так же как и инстинкты, паттерны коллективной мысли человеческого разума являются врожденными и унаследованными»². Но архетипы выражаются в виде восприятия целостных образов, а инстинкт функционирует на уровне ощущений.

Забывчивость обусловлена тем, что некоторые сознательные мысли теряют свою специфическую энергию из-за отвлечения внимания. Сознание как луч прожектора — все, что он не освещает, уходит в бессознательное. «Но когда нечто ускользает из сознания, то перестает существовать не в большей степени, чем автомобиль, свернувший за угол»³. Мы можем делать что-то, управляемые бессознательным, когда цель выпала из сознания.

К. Юнг иначе, чем З. Фрейд, интерпретирует сновидения. По его мнению, «многие сны представляют образы и ассоциации, аналогичные первобытным идеям, мифам и ритуалам»⁴. В отличие от мифов и сказок сны — это непосредственная психическая данность, не прошедшая сознательной обработки. «И эти ассоциации и образы ни в коей мере не безжизненные или бессмысленные “пережитки”. Они до сих пор живут и действуют, оказываясь особенно ценными в силу своей “исторической” природы. Они образуют мост между теми способами, которыми мы сознательно выражаем свои мысли, и более примитивной, красочной и живописной формой выражения. Но эта форма обращена непосредственно к чувству и эмоциям. Эти “исторические” ассоциации и есть звено, связывающее рациональное сознание с миром инстинкта»⁵.

«Общая функция снов заключается в попытке восстановить наш психический баланс посредством производства сновидческого материала, который восстанавливает — весьма деликатным образом — целостное психическое равновесие... Сон компенсирует личностные недостатки и в то же время предупреждает об опасности неадекватного пути»⁶, — продолжает К. Юнг. Сон — это разговор бессознательного с сознанием и способ познания бессознательного. Сны «зарождаются в духе, который носит не вполне человеческий характер, а является скорее дыханием при-

¹ Юнг К. Архетип и символ. — М., 1991. — С. 65.

² Там же. — С. 70.

³ Там же. — С. 35.

⁴ Там же. — С. 45.

⁵ Там же.

⁶ Там же. — С. 46.

роды»¹. «Таким образом, с помощью снов (наряду с интуицией, импульсами и другими спонтанными событиями) инстинктивные силы влияют на активность сознания»². Бессознательное раньше знает то, что еще не вошло в сознание. В этом предсказательное значение сна. Бессознательное, по К. Юнгу, есть предзнание.

В бессознательном присутствует теневая сторона нашей личности. «Безмерно древнее психическое начало образует основу нашего разума точно так же, как строение нашего тела восходит к общей анатомической структуре млекопитающих. Опытный взгляд анатома или биолога обнаруживает много следов этой исходной структуры в наших телах. Искушенный исследователь разума может сходным образом увидеть аналогии между образами сна современного человека и продуктами примитивного сознания, его коллективными образами и мифологическими мотивами»³. «Смысл и целенаправленность не есть прерогативы разума, они действуют во всяком живом организме. Нет принципиальной разницы между органическим и психическим развитием. Так же, как растение приносит цветы, психическое рождает свои символы»⁴.

Человек приходит в мир со сложной психикой, в которой присутствуют и инстинкты и архетипы бессознательного. «Мыслеформы, универсально понимаемые жесты и многочисленные установки следуют образцам, сформировавшимся задолго до того, как человек обрел рефлексивное мышление. Можно даже считать, что довольно раннее возникновение человеческой способности к рефлексии явилось из болезненных последствий эмоциональных потрясений»⁵.

Сознание, по мнению К. Юнга, развилось из эмоций. Бессознательное породило разум как закономерный этап эволюции. «Так же, как эволюция эмбриона повторяет его предысторию, так и разум развивается путем перехода через ряд доисторических стадий»⁶, которые не исчезают, а находятся внутри человека.

Современный человек «слеп к тому, что, несмотря на свои рациональность и эффективность, он одержим “силами”, находящимися вне его контроля. Его демоны и боги вовсе не исчезли, они всего лишь обрели новые имена. И они удерживают его на ходу своим беспокойством, нечетким пониманием, психологическими сложностями, ненасытной жадой лекарств, алкоголя, табака, пищи и прежде всего огромной массой неврозов»⁷.

¹ Юнг К. Архетип и символ. — М., 1991. — С. 48.

² Там же. — С. 61.

³ Там же. — С. 64.

⁴ Там же. — С. 61.

⁵ Там же. — С. 71.

⁶ Там же. — С. 90.

⁷ Там же. — С. 76.

Бессознательное управляет инстинктивными тенденциями, склонностями, выраженными в соответствующих мыслеформах. Архетипы создают мифы, религии, духовную культуру в целом. К. Юнг считал, что личностные комплексы — это компенсации «за односторонние или дефектные установки сознания; сходным образом мифы религиозного происхождения можно интерпретировать как вид ментальной деятельности для обеспокоенного и страдающего человечества в целом — голод, война, болезнь, старость, смерть»¹, — считал К. Юнг.

**Сознание
и бессознательное**

К. Юнг вывел из психики культуру. Его ученик Э. Фромм развернул психоанализ в социальном направлении. Различие представлений Э. Фрейда и Э. Фрейда аналогично спору в социобиологии о наличии генов эгоизма и альтруизма. По Э. Фромму, не животная природа человека ведет к социальным конфликтам, а общественное устройство извращает первичные благородные побуждения. Человек стремится к единству с другими людьми, а попадает в сети тоталитаризма. По мнению Э. Фрейда, стремление к справедливости, истине, свободе является неотъемлемой чертой человеческой природы. Если Э. Фрейд исследовал подсознание, К. Юнг — коллективное бессознательное, то Э. Фромм обратился к сверхсознанию.

Проверка психоанализа с помощью гипноза подтвердила наличие комплекса Эдипа. На более глубоком уровне гипноза присутствуют переживания коллективного бессознательного; затем вспоминается процесс рождения и начинаются трансперсональные переживания, которые некоторые ученые склонны считать подтверждением концепции перевоплощения. В пользу этой концепции приводят видения, испытываемые людьми в состоянии клинической смерти.

В современной психологии можно выделить три основные точки зрения на сознание:

- отрицание самоценного значения психики и сознания (бихевиоризм);
- утверждение, что психика и сознание формируются после рождения (классическая школа психогенеза);
- модель «расширяющегося сознания», в соответствии с которой психика и сознание существуют до рождения (С. Гроф).

Основные различия между сознательным и бессознательным можно представить следующим образом.

<i>Сознательное</i>	<i>Бессознательное</i>
Вербальное	Невербальное
Формально-логическое	«Нелогичное», неформальная логика

¹ Юнг К. Архетип и символ. — М., 1991. — С. 73.

Концептуальное, абстрактное
Символическое
Синтаксическая связанность
Вторичные мыслительные
процессы
Рациональное
Интенциональное (предметно-
направленное) мышление
Формализация
Научная систематизация
Последовательность
Дискретность

Образно-визуальное, конкретное
Иконическое
Свобода комбинации знаков
Первичные мыслительные
процессы
Иррациональное
Сновидения, фантазии,
галлюцинации
Интуиция
Мифологическая систематизация
Одновременность
Континуальность

Парапсихология

К. Юнг пишет о четырех средствах, благодаря которым сознание получает свою ориентацию в опыте. «*Ощущение* (т. е. восприятие органами чувств) говорит нам, что нечто существует; *мышление* говорит, что это такое; *чувство* отвечает, благоприятно это или нет, а *интуиция* оповещает нас, откуда это возникло и куда уйдет»¹. Эмоции опираются на неосознаваемую информацию, они более непосредственны и менее управляемы человеком; чувства же могут осознаваться, более подвластны человеку и опосредованы социокультурными ценностями. Сознание создает основу понятийного мышления, без которого разумная деятельность невозможна. Но само осознание чего-либо может быть интуитивным.

Исследование интуиции является основной задачей науки, которая получила название *парапсихологии*. Ее предметом являются опыты по обнаружению сверхчувственных эффектов, исследование людей, обладающих повышенными экстрасенсорными возможностями, изучение так называемых биополей человека, животных и растений (в частности, проблемы чувствительности растений к людям), и т. п.

Начало парапсихологии положили контролируемые и воспроизводимые опыты по отгадыванию так называемых парапсихологических карт, которые показали, что многие люди в той или иной степени обладают способностью предчувствия.

Парапсихологи изучают и таких людей, как У. Геллер, который может останавливать работу эскалатора, компьютера, находить спрятанные предметы, обнаруживать месторождения полезных ископаемых, сгибать металлические предметы, даже если они заключены в капсулы, чинить часы на расстоянии, распознавать изображения в магнитной памяти ЭВМ, приводить в движение стрелку компаса и электроизмерительного прибора, впечатывать свое изображение на пленку полностью закрытого фотоаппарата, изменять вес груза на весах, показания счетчика радиоактивного

¹ Юнг К. Архетип и символ. — М., 1991. — С. 57.

излучения, устраивать исчезновение предметов и вновь восстанавливать их на прежнем месте (материализация и дематериализация), отключать свет в огромном районе города, останавливать корабль, внушать другим людям мысли на расстоянии и т. п. У. Геллер может проделывать все это лишь в присутствии других людей, он как бы подпитывается от них энергией. Обычные люди получают возможность выполнять такие же действия, «заряжаясь» от него. Способности У. Геллера распространяются после сеансов по радио и телевидению на других людей на огромные расстояния. Часто отмечается эффект последействия (задержанная реакция).

Интересны мысли самого У. Геллера, приведенные в книге «Моя история». Он пишет: «У меня есть ощущение, что эти энергии и силы идут не от меня — я как бы лишь тоннель, труба, через которую они проходят...»¹. «Из-за того, что мои возможности идут от энергии, которая находится вне меня, у меня никогда нет стопроцентной уверенности, что все будет в порядке...»² «По моему глубокому убеждению, каждый человек имеет внутри себя некую абстрактную силу, которую можно высвободить тремя способами. Способ первый — психологическое внушение. Второй — визуальный, связанный с возможностью видеть эту силу в действии или слышать ее подробное описание по радио. И третий способ — самовнушение и развитие внутренней уверенности в ее существовании... Главное условие успеха — это вера»³.

Размышления над собственными способностями приводят У. Геллера к новой трактовке понятия «время»: «Но когда я начинаю думать о каких-то более глубоких вещах, то убеждаюсь, что на самом деле не существует ни прошлого, ни настоящего, ни будущего для вечности. Все происходит одновременно. Я чувствую, что у каждого из нас есть два канала восприятия: космический и обыкновенный, и мы можем на них настраиваться в разные времена»⁴. Способности У. Геллеру дал «яркий свет», который накрыл его в детстве. Можно сказать, что создалась особая система под воздействием света, перешедшего в энергию, которой подвластно все, кроме лазерного луча. Речь идет о паранормальной психической энергии. «Бог — это как бы горячее нашей души, горячее, которое, воспламеняясь, помогает нам устремляться ввысь»⁵. В то же время У. Геллер пишет, что ему необходимы физические нагрузки каждый день, иначе он утратит свою энергию. Мы имеем дело здесь с чем-то, граничащим с фантастикой. Но надо отметить, что гипотезы об одновременности прошлого, настоящего и будущего обсуждаются в науке (в

¹ Геллер У. Моя история. — М., 1991. — С. 12.

² Там же. — С. 16.

³ Там же. — С. 32—33.

⁴ Там же. — С. 44.

⁵ Там же. — С. 171.

частности, в физике), а немало людей проявляет в экстремальных ситуациях силы, недоступные для них в нормальном состоянии (мать, спасая ребенка, может поднять автомобиль; некоторые предчувствуют судьбу близких и т.п.). Все это может быть предметом научного познания, хотя исследование подобных феноменов представляет большую сложность.

**Классическая
и холотропная
модели сознания**

Вселенная расширяется с огромной скоростью, континенты удаляются друг от друга со скоростью, которую можно зафиксировать только самыми точными приборами. Но информация (прежде всего научная) уплотняет все многообразие мира в точку (согласно теории ноосферы П. Тейяра де Шардена это точка Омега), и несмотря на то, что континенты становятся все дальше друг от друга, средства связи все теснее соединяют их. Такова диалектика жизни.

В процессе совершенствования механизма реагирования на воздействия окружающей среды психика все более усложнялась, что в конечном счете привело к появлению того, что является главным отличием человека от всех других видов жизни, — сознания.

Возможно, уплотнение информации весьма способствовало появлению сознания, которое затем, развиваясь и вбирая в себя все больше и больше информации, как бы расширялось, наподобие Вселенной, но не в физическом, а в духовном смысле.

Процесс развития психики и сознания носит название **психогенеза**. Принципы психогенеза, по Х. Дельгадо, таковы:

1. Создав сознание, эволюция стала управлять собой.
2. Разум — один из механизмов обратной связи между организмом и средой.
3. Человек представляет собой функциональное единство сенсорной информации, поведенческих реакций и процессов, происходящих в мозгу.
4. В момент рождения сознания не существует.
5. Сознание не может возникнуть без притока сенсорной информации.
6. Над человеком довлеют наследственность и воспитание.
7. Индивидуальность человека — это приобретенные функции.
8. Цель воспитания — создание психических функций индивидуума.
9. Воспитание не должно быть авторитарным, но контроль необходим.
10. Символы окружающего мира материализуются в мозгу как молекулярные изменения структуры нейронов.
11. Свобода — результат развития цивилизации.
12. Сделай себя сам.
13. Управление психикой приводит к психоцивилизации.

14. Управление сложными системами в эпоху НТР требует развития психических свойств.

Исследования последних лет в области изучения сознания человека, связанные с использованием гипноза и психотропных средств, позволили С.Грофу ввести понятие *холотропной модели сознания* и сделать выводы, которые во многом противостоят *классической модели сознания* и человека (табл. 6).

Таблица 6

Различия между классической и холотропной моделями сознания

Классическая модель сознания	Холотропная модель сознания
Границы человеческого организма абсолютны и совпадают с поверхностью кожи	Человек имеет бесконечное поле сознания, выходящее за пределы трехмерного пространства, линейного времени и причинно-следственных связей; он соизмерим со всей целостностью бытия
Коммуникация и приобретение информации требуют участия сенсорных органов и известных видов энергии	Для коммуникации и получения информации не обязательны сенсорные каналы и известные виды энергии
Умственная деятельность состоит в перекомбинировании сенсорной информации (нет ничего в разуме, чего не было бы в чувствах)	Психика включает весь опыт эволюции Вселенной (в том числе смерть и коллективное бессознательное). В каждом человеке есть все
Хранение в памяти осуществляется на основе материального субстрата — мозговых клеток и цепей генов	Память может существовать без материального субстрата
Духовный опыт сводится к исходному нарциссизму, жажде «океанического чувства» и другим младенческим переживаниям	Духовный опыт является универсальным; продолжает информацию, полученную в измененных состояниях сознания, и несводим к регрессивным состояниям
Сознание есть продукт мозга и нейрофизиологических процессов, происходящих в нем	Сознание опосредуется мозгом, но не зарождается в нем
Симптомы психического заболевания надо ликвидировать с помощью лекарств	Симптомы болезни следует поддерживать (принцип гомеопатии), так как их наличие свидетельствует о возможности решения проблемы, вставшей перед организмом

Классическая модель сознания	Холотропная модель сознания
Во время патологического процесса внутренние гомеостатические и целительные механизмы организма бездействуют	Гомеостатические и целительные механизмы всегда играют решающую роль и необычные состояния сознания активизируют их силу
Лечение психических заболеваний следует проводить электрошоком, инсулиновой блокадой, психофармакологическими средствами, вербальной психотерапией (метод свободных ассоциаций, беседа, разрушение стереотипов)	Лечение осуществляется с помощью сеанса изменения сознания (духовное исцеление, исцеление через транс, ритуалы перехода, мистерии смерти и возрождения и т. п.)
В процессе лечения терапевт активен, пациент пассивен. Врач — эксперт, он все знает	Терапевт только помогает в процессе исцеления установить связь между «Эго» и высшим «Я». Источник исцеления — сам пациент
Цель лечения — преодоление симптомов болезни и дискомфорта	Цель лечения — глубокая трансформация личности и смена фундаментальных ценностей человека. По-настоящему здоров тот, кто приходит к чувству планетарного единства, к экологической ответственности

Какими бы удивительными ни казались максимы холотропной модели сознания, можно проследить определенные параллели между ними и современными физическими представлениями:

- поле сознания выходит за трехмерное пространство и линейное время (в физике: пространство—время не трехмерно и не линейно);

- отсутствует однозначный детерминизм (в физике: внедрение вероятностных представлений);

- память, как и энергия, может существовать без материального субстрата (в физике: масса покоя может быть равна нулю);

- поле сознания бесконечно (в физике: принцип дальнего действия);

- сознание опосредуется мозгом, но не зарождается в нем (в физике: «свобода воли» электрона);

- Вселенная предполагает участие космического разума как решающего фактора развития. Сознание — исходный атрибут существования (в космологии: антропный принцип).

Вопросы для повторения

1. Какие функции выполняют правое и левое полушария мозга человека?
2. От чего зависит поведение человека, по З. Фрейду?
3. Чем отличается психоанализ З. Фрейда от аналитической психологии К. Юнга?
4. Каковы сравнительные характеристики сознания и бессознательного?
5. Каково естественно-научное значение психоанализа?
6. Что изучает парапсихология?
7. Каков механизм восприятия?
8. Каков механизм представления?
9. В чем различие классической и холотропной моделей сознания?
10. Что понимается под расширяющимся сознанием?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Что такое сознание и бессознательное?
2. Как происходит взаимодействие сознательного и бессознательного в человеке (по З. Фрейду, по К. Юнгу)?
3. Каково ваше мнение об основных мотивах человеческой деятельности? Кто прав: З. Фрейд или К. Лоренц?
4. Что такое архетипы коллективного бессознательного и откуда они берутся?
5. В чем проявляется функциональная асимметричность полушарий головного мозга у человека?
6. Как в психоанализе изучаются действующие (З. Фрейд), конечные (А. Адлер), формальные (К. Юнг) причины?
7. Что такое, по К. Юнгу, самость?
8. Почему психоанализ З. Фрейда ближе к естествознанию, чем другие психологические теории?
9. Что такое либидо (по З. Фрейду, А. Адлеру, К. Юнгу)?
10. Что такое парапсихология?
11. Как холотропная модель сознания связана с мистическими учениями?

II. Прокомментируйте высказывание.

«Самость есть наша психическая целостность, построенная из сознания и бесконечного океана души, по которому оно плывет. Моя душа и мое сознание — вот что такое моя Самость, в которую я погружен, как остров в море, как звезда в небо. Итак, Самость бесконечно более обширна, чем Я» (К. Юнг).

III. Прокомментируйте схемы.

1. Схема развития сознания

Отражение (у всей материи) → раздражимость (у живых тел) → восприятие (органами чувств) → представление (психика) →

эмоции → чувства → архетипы коллективного бессознательного → мифы, культы → сознание (пралогическое мышление) → понятийное (абстрактное) мышление → сознательное преобразование действительности → ноосфера

2. Особенности полушарий головного мозга человека

<i>Правое</i>	<i>Левое</i>
Образность	Логичность
Целостность	Отвечает за движение
Отвечает за художественное освоение реальности	Отвечает за речь
Иррациональность	Рациональность
Интуитивность	Дискурсивность
Отвечает за качественную оценку	Отвечает за количественную оценку

3. Сопоставление классической и холотропной моделей сознания

<i>Классическая модель</i>	<i>Холотропная модель</i>
Сознание — продукт мозга	Сознание существует вне мозга
Сознание формируется после рождения	Сознание существует до рождения
Для работы сознания необходима сенсорная информация	Сенсорная информация не необходима

Литература

- Дельгадо Х. Мозг и сознание. — М., 1971.
Фрейд З. Психология бессознательного. — М., 1989.
Эшби У. Р. Конструкция мозга. — М., 1964.
Юнг К. Г. Архетип и символ. — М., 1991.

СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА И БУДУЩЕЕ НАУКИ

Общие закономерности современного естествознания

В этой главе мы перечислим некоторые выводы из анализа развития науки, представим современную естественно-научную картину мира и возможное будущее естествознания.

Наука является одним из этапов эволюции человеческой культуры. Пройдя несколько предварительных стадий от Античности до эпохи Возрождения, наука вобрала достижения многих отраслей культуры, в том числе философии и религии, и представляет собой в целом качественно новое явление.

Изначально в науке присутствовало противоречие двух ее целей, которое затем породило противоречивость результатов: с одной стороны, наука была средством нахождения истины о мире, а с другой — нацелена на обеспечение господства человека над природой и ее преобразование. Соединяя обе цели, Ф. Бэкон писал, что истинной и закономерной целью наук должно быть обогащение жизни человека новыми открытиями и новым могуществом. В дальнейшем, однако, наука все больше склонялась (и ее склоняли) к обеспечению прежде всего могущества человека, с тем чтобы люди, как писал Р. Декарт, могли стать «хозяевами природы».

Что же все-таки главное в развитии науки: понимание человеком себя и мира, окружающего его, или покорение природы? Этот вопрос становился все более острым.

Еще одно противоречие, вытекающее из предыдущего, коренилось в том, что, как писал Д. Бернал, в то время как технические потребности часто ставили проблемы, дающие рост новым отраслям науки, научные успехи эффективно закреплялись в том случае, если только они могли быть применены в практических целях. Однако слишком тесная взаимосвязь науки и техники вредна, так как у каждой из этих отраслей культуры есть специфика, заключающаяся в том, что наука изучает мир, а техника его преобразует.

Наука, объединившись с техникой, привела в XX в. к научно-технической революции, которая является ныне главным фактором развития человечества. Около 5 млн человек работают в современной науке. Объем научной информации растет по экспоненте невиданными темпами.

Развитие науки становится международным делом. Для достижения значительных результатов сегодня необходимы совместные усилия ученых различных стран, так как для проведения исследований требуются громадные средства. Кроме того, некоторые исследования интернациональны по своему содержанию (например, климат изучать нельзя, имея данные только о климате одной страны).

Следующий вывод касается классификации наук. Он особенно важен в эпоху дифференциации научного знания.

Еще древнегреческие философы классифицировали знание по его объекту на три области: природу (физика), общество (этика), мышление (логика). Ф. Бэкон в соответствии со свойствами человеческого интеллекта разделил знание также на три части: историю (память), поэзию (воображение) и философию (рассудок). Т. Гоббс поставил геометрию во главе дедуктивных наук, а физику — во главе индуктивных. Г. Спенсер разделил все науки на абстрактные (логика и математика), конкретные (астрономия, геология, биология, психология, социология) и промежуточные, абстрактно-конкретные (механика, физика, химия).

В настоящее время общепринято деление наук на естественные, гуманитарные, технические и математические. К естественным наукам относятся: астрономия, физика, химия, геология, физическая география, биология, физиология человека, антропология. Между ними немало переходных наук, таких как астрофизика, физическая химия, химическая физика, геофизика, геохимия, биофизика, биохимия, биогеохимия и т. п., а также переходных от естественных к гуманитарным и техническим наукам (социальная экология, глобальная экология и др.).

Данная классификация неслучайна. Предмет естественных наук составляют отдельные ступени развития природы, или ее структурные уровни.

Наука постоянно обогащается новыми методологическими принципами, часто противоположными принятым ранее (на смену редукционизму приходит холизм, детерминизму — индетерминизм и т. д.); новыми подходами (структурный, системный, функциональный, вероятностный подходы); новыми понятиями, как частными, применяемыми в отдельных областях познания (например, «кварк» в физике), так и общенаучными («неопределенность», «дополнительность», «целостность», «целесообразность», «адаптация», «самоорганизация», «информация», «поле» и т. п.).

Задача понятийного аппарата — компактно представить постоянно растущее знание. Поэтому наряду с терминами все большее значение приобретают знаки, существенно сокращающие запись. Научный знак имеет значение, объясняющее его, аналогично тому, как термин, будучи определен, становится понятием.

Наука находится в процессе перманентного развития. Но предугадать, в каком направлении она будет продвигаться и какими будут следующие открытия, невозможно. Физики рассчитывали в 50-е гг. XX в. осуществить искусственную термоядерную реакцию и создать общую теорию поля. А прорыв был совершен в термодинамике открытых систем. Кибернетики думали, что будут создаваться все более сложные и громоздкие ЭВМ, а появился персональный компьютер. Наука есть создание качественно нового, а новое невозможно предвидеть.

Область научного исследования постоянно расширяется, распространяясь на объекты, которые до этого находились вне сферы ее интересов (сложные, неустойчивые, открытые системы и т.п.). Тем не менее основные требования к научному исследованию — всеобщность опыта, универсальность объяснения — остаются в силе. «Опыт — единственный верный руководитель», — говорил Н. Винер. Натурфилософские концепции, построенные на основе науки, например концепция ноосферы, непроверяемые эмпирически, остаются на периферии естествознания.

Существуют три механизма эволюции: диссипативные структуры в неживом мире, естественный отбор в живой природе и культура в человеческом обществе. Но наука не знает, как произойдет становление нового, поскольку это уникальный процесс. Наука достигает пределов возможного, потому что имеет дело в основном с воспроизводимыми и повторяющимися процессами. Подходя к уникальному, она обращается к вероятностным методам. Наука вообще не может утверждать, что нечто обязательно случится, так как по современным научным представлениям эволюция мира не запрограммирована однозначно.

Наука развивается в пределах чувственного и логичного и ограничена возможностями наших чувств и законами мышления. Особенности органов чувств и мышления, как и эволюция, являются ее граничными условиями. Наука как бы находится в треугольнике, ограниченном возможностями человека и творчеством природы. Она постоянно расширяет свои границы, оставаясь при этом принципиально ограниченной.

Ныне наука столкнулась с еще одним ограничением — экологическим. Ее развитие может привести к уничтожению биосферы. В ответ наука не способна создать равноценный искусственный мир. Разрушать всегда легче, чем созидать, — это касается и отдельного человека, и человечества в целом.

Итак, к трем ограничениям — с эмпирической, теоретической и предметной сторон — прибавилось ограничение этического характера. Поэтому столь важными стали проблема «этики и науки» и вопрос о том, что такое наука: добро или зло?

Наука создает информацию о мире, и это должно иметь смысл. Люди сами находятся в цепи жизни и ответственны за нее. Все

более сложное в наибольшей степени подвержено разрушению, но и более способно к дальнейшему самосовершенствованию. Это усиливает ответственность за творимое на Земле.

Научные революции XX века

Можно выделить следующие открытия в естествознании, которые привели к научным революциям в XX в.

Астрономия: модель Большого Взрыва и расширяющейся Вселенной.

Геология: тектоника литосферных плит.

Физика: смещение точки отсчета от материи к энергии и от вещества к полю.

Теория относительности: относительность пространства и времени.

Квантовая механика: корпускулярно-волновой дуализм.

Синергетика: становление новых структур в неживой природе.

Биология: модели происхождения жизни.

Генетика: механизм воспроизводства жизни.

Экология: взаимодействие живого со средой.

Этология: формы поведения организмов.

Социобиология: соотношение естественного и социального.

Кибернетика: управление в неживой и живой природе.

Психоанализ: роль бессознательного в человеческой психике.

Эти научные революции позволили сформулировать следующие *общие закономерности развития мира*:

- существование эволюции природы (от Вселенной до кварков);

- наличие самоорганизации (от неживых систем до биосферы);

- наличие системности связи неживой природы, живой природы и человека (в экологии);

- существование неразрывной связи природных систем с пространством и временем (в теории относительности);

- относительность разделения на субъект и объект (в квантовой механике и синергетике).

В XX в. появились новые общенаучные подходы: системный (исследование предметов как систем), структурный (исследование уровней организации), вероятностный (применение вероятностных методов) и т. п.

Научные достижения XX в. позволяют нарисовать следующую современную естественно-научную картину мира:

Уровни организации	Часть пространства	Наука	Вид эволюции
Вселенная	Мегамир	Космология	Космическая
Галактика	»	Астрономия	»
Звездные системы	»	»	»

Планета	Макромир	Геология	Земная
Биосфера	»	Экология	Экологическая
Сообщество	»	Этология	Биологическая
Популяция	»	»	»
Вид	»	»	»
Индивид	»	»	»
Клетка	Микромир	Генетика	»
Молекула	»	Химия	Химическая
Атом	»	Физика	Физическая
Элементарная частица	»	»	»
Кварк	»	»	»

Можно построить и более подробную картину, выделив такие уровни организации, как ядро атома, ядро клетки, макромолекула, кристалл, планета, человек, ноосфера и т.д.

**Трудности
и парадоксы
развития науки**

Основами структуры познания в наиболее развитых отраслях естествознания являются анализ предмета исследования, выделение абстрактных элементарных объектов и последующее их логическое соединение в виде теоретической модели. В процессе применения этой модели, представляющей собой один из возможных вариантов объяснения какого-либо фрагмента реальности, неизбежно расхождение идеального с реальным. Даже если теория верно отражает какой-либо фрагмент внешнего мира, на ее основе нельзя предсказать в полном объеме реакции природной среды на внесенные в нее изменения, хотя бы по причине объективной неопределенности, существующей в природе.

Фундаментальной особенностью структуры научной деятельности является разделенность науки на относительно обособленные друг от друга дисциплины. Это имеет свою положительную сторону, поскольку дает возможность детально изучить отдельные фрагменты реальности, однако при этом упускаются из виду связи между ними, а в природе, как гласит известное диалектическое положение, предлагаемое в качестве закона экологии, «все связано со всем». Разобщенность наук особенно мешает сейчас, когда выявилась необходимость комплексных интегративных исследований окружающей среды. *Природа едина. Единой должна быть и наука о всех явлениях природы.*

Еще одна фундаментальная черта науки — стремление абстрагироваться от человека, стать максимально безличной. Эта в свое время положительная особенность науки делает ее ныне неадекватной реальности и ответственной за экологические трудности, поскольку человек стал самым мощным фактором изменения действительности.

Следует также отметить, что политика в области научных исследований, как любая другая форма человеческой деятельности,

не обладает такой степенью гибкости, чтобы немедленно реагировать на изменение ситуации, а реагирует с задержками.

Человек овладевает миром через его познание, но это познание не может быть абсолютным. Тем не менее наука, давая человеку ценнейший неубывающий ресурс — информацию, является необходимым способом отражения объективного мира, и ни мистика, ни интеллектуальное созерцание, ни поэтическое отношение к природе не заменяет науку в деле объяснения мира и прогнозирования последствий его изменения человеком.

Более того, увеличение масштабов преобразовательной деятельности человека требует повышения теоретического уровня исследований системы «природа—общество», усиления их прогностической мощи, без чего невозможно эффективное управление природой. Чем выше технический уровень, тем более прочные и важные связи в природе нарушаются и тем насущнее потребность в научных рекомендациях для выбора альтернативы: или попытаться облегчить адаптацию среды к техническим новшествам, или изменить и даже отказаться от задуманного плана преобразования.

В дополнение к отмеченным выше преобладанию анализа в науке, ее обезличенности, абстрагирующему характеру, чрезмерной специализации, дисгармоничности в развитии ее отдельных частей, выходу за рамки наглядности в ту область, где все решается не объективными законами, а случайностью и свободной волей, можно добавить упрек в том, что *наука и техника способствуют социальному угнетению, в связи с чем раздаются призывы об отделении науки от государства* (П. Фейерабенд).

К парадоксам развития науки относится то, что наука, с одной стороны, сообщает объективную информацию о мире, а с другой — уничтожает ее и ее носителей (при различных экспериментах) или что-либо уничтожается на основе научной информации (виды жизни, невозпроизводимые ресурсы).

Но главное, *наука теряет надежду сделать людей счастливыми и дать им истину*. Об этом говорил еще Л. Н. Толстой. «Действительность нельзя познать с помощью науки, так как научное познание — это частное познание, имеющее дело с определенными предметами, а не с самим бытием», — утверждает современный немецкий философ К. Ясперс. Сделать человека счастливым науке не удастся никогда, а отказ от претензий на абсолютную истину подрывает ее лидирующую роль в культуре.

**Наука как
эволюционный
процесс**

Наука не только изучает развитие мира, но и сама является процессом, фактором, результатом эволюции. Если мы рассмотрим науку как эволюционный механизм, то увидим, что она становится все более

сложно организованной системой, не способной практически к самоорганизации. Необходимость перестройки науки вызвана тем,

что мир постоянно изменяется (под влиянием науки в том числе), и наука должна реагировать на эти изменения как реагирует живой организм.

Очевидна необходимость внутренней целостности естествознания и его связи с гуманитарными и техническими науками. Ценность науки определяется не только отдельными достижениями, но и гибкостью ее функционирования как единой системы. Наука должна быть едина, как едина биосфера.

Решая вопрос об эволюции человека, мы приходим к выяснению роли науки, поскольку она стала основным фактором эволюции не только в смысле ее вклада в совершенствование разума, но и в смысле ее участия в развитии генной инженерии и т.п. Наука стала великим Конструктором эволюции Земли, и сама эволюция человека зависит от того, каким образом и в каком направлении будет развиваться наука. Наука может ускорить или затормозить эволюцию человека. Естественные механизмы эволюции под влиянием общественного и технического прогресса перестают действовать, а к новым факторам (к примеру, радиоактивности) человек эволюционно не приспособлен. Наука должна находиться в гармонии с эволюцией мира. Другими словами, должна образоваться обратная связь между наукой и другими сторонами жизни, которая регулировала бы развитие науки.

Эволюция Вселенной, начиная с точки сингулярности, шла по пути увеличения разнообразия мира, создания новых частиц, которые не существовали изолированно, а объединялись в новые целостности — атомы, молекулы, клетки и т.д., упорядоченно функционирующие по своим законам. Аналогично увеличение разнообразия науки должно сопровождаться интеграцией и ростом упорядоченности, а это и называется *становлением науки как целостной интегративно-разнообразной гармоничной системы*.

На эволюцию науки в данном направлении дает основание надеяться известное диалектическое положение о том, что познание мира совершенствуется по мере его преобразования. Человек имеет ныне возможность конструировать самого себя как генетически, так и меняя окружающую среду. При этом возникают новые перспективы и увеличивается ответственность.

В современной науке наблюдаются важные процессы, являющиеся реакцией на те задачи, которые встают в связи с интенсивным уплотнением системы функциональных связей между природой и обществом. Для современной науки становится характерной тенденция экологизации и т.п. Можно предположить, что наука вскоре станет более органичной частью культуры, а вся культура будет развиваться как одно целое и часть биосферы, становясь экологичной культурой.

В связи с этим большой интерес в XXI в. может представлять изучение несиловых взаимодействий (в природе и человеческом

обществе), дальноедействие, сознательного управления разнообразными процессами. Общее значение науки будет зависеть от того, что она даст для решения фундаментальных проблем человека: будет ли она способствовать переходу от потребляющей цивилизации к устойчиво развивающейся, контролю за агрессивностью, которая при отсутствии межвидовой борьбы не ведет к эволюции, созданию новой структуры личности — любовно-творческой взамен агрессивно-потребительской.

Вопросы для повторения

1. Каковы главные выводы из развития естествознания в XX в.?
2. Какие научные революции произошли в XX в.?
3. Каковы механизмы эволюции, выявленные наукой?
4. Какова современная естественно-научная картина мира?
5. Что представляет собой наука как эволюционный процесс?
6. Каков идеал научного знания?
7. Что такое наука как целостная интегративно-разнообразная система?
8. Что такое структурные уровни организации материи?
9. Как с помощью концепции структурных уровней достигается единство научного знания?
10. Что такое дифференциация и интеграция научного знания?

Задания к семинару

I. Ответьте на вопросы.

1. Какие попытки построить единую науку предпринимались раньше и как эта проблема решается сейчас?
2. Почему идеалом науки является наука как целостная интегративно-разнообразная гармоничная система?
3. Каковы предмет и методы основных естественных наук?
4. Как изменялась в XX в. методология естествознания и почему она получила большое развитие?
5. Назовите 20 основных понятий современного естествознания и дайте их характеристику.
6. Опишите 10 крупнейших открытий современного естествознания.
7. В чем сходство и различие изучаемых естествознанием типов систем (простые и сложные, устойчивые и неустойчивые, закрытые и открытые и т. п.)?
8. Что общего и чем различаются проблемы происхождения материи, Вселенной, жизни, человека?
9. Какие существуют общие закономерности функционирования природы?
10. Каково различие между законом, развитием и целесообразностью?
11. Кто такие сциентисты и антисциентисты? Кто из них прав?
12. Что такое наука как эволюционный процесс и часть биосферы?

13. Как вы понимаете утверждение, что наука — это «третий мир», мир познания?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Смотрю ли я с оптимизмом на будущее науки? Оптимисты, пессимисты — трудно сказать, кто мы, потому что наука принесла людям и много хорошего, и вместе с тем — атомные бомбы, ракеты и другие виды оружия, которые представляют угрозу человечеству. В современной международной обстановке эти научные достижения представляют большую опасность. Катастрофы не должно быть, ибо она принесет гибель всему нашему миру. Чтобы этого не случилось, нужно взаимопонимание. Между коллегами, народами, государствами. Между наукой и обществом. Ученый обязан оценивать вред и пользу, которые его наука способна принести человечеству» (Х.Альвен).

«Узкий специалист теряет общую перспективу» (Г.Селье).

«Точно так же, как сам человек, его разум и его тело развиваются в соответствии с кодом, записанным в двух крошечных клетках, так и сложнейшая организация научного учреждения базируется на одной идее, плане, проекте» (Г.Селье).

III. Прокомментируйте схемы.

1. Структурные уровни организации материи

Вид материи	Часть пространства	Тип систем	Наука	Вид эволюции
Вселенная	Мегамир	Простые	Астрономия	Космическая
Галактика	»	»	»	»
Звезда	»	»	»	»
Планета	Макромир	Сложные	Геология	Земная
Биосфера	»	С обратной связью	Экология	Экологическая
Сообщество	»	То же	»	»
Популяция	»	»	»	Биологическая
Вид	»	»	Этология	»
Организм	»	»	Биология	»
Клетка	Микромир	Без обратной связи	Генетика	«
Молекула	»	То же	Химия	Химическая
Атом	»	»	Физика	Физическая
Элементарная частица	»	»	»	»
Кварк	»	»	»	»

2. Главные науки XX в.

Космология, теория относительности, квантовая механика, синергетика, кибернетика, генетика, экология, этология, этнология, социобиология, методология науки, этика науки.

Литература

- Вернадский В. И.* Размышления натуралиста: в 2 кн. — Кн. 2. — М., 1977.
Мир вокруг нас: Беседы о Мире и его законах: Сб. ст. / Сост. Е. В. Дубровский. — М., 1983.
Пуанкаре А. О науке. — М., 1983.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ЛИЧНОСТЬ УЧЕНОГО И ЭТИКА НАУКИ

**Значение личности
в науке**

Если результаты науки, как отмечалось ранее, безличны, то какое значение может иметь личность ученого? Прежде всего, без своего создателя наука вообще невозможна. Внешне деятельность ученого спокойна и незаметна: он что-то исследует в лаборатории, пишет в тиши кабинета, публикует результаты исследований, которые потом входят в учебники и жизнь других людей. Однако сама современная наука началась с трагедии: за свои научные убеждения был сожжен на костре Дж. Бруно, а год его смерти (1600) стал отправной точкой развития науки Нового времени. В XVII в. пришлось отречься от своих взглядов перед судом инквизиции Г. Галилею.

XX в. — век признания науки был отмечен «обезьяньим процессом» в США, когда школьного учителя судили за преподавание теории эволюции Ч. Дарвина, а в СССР ученые преследовались только за то, что занимались научными исследованиями. Выдающемуся русскому ученому Н. Н. Вавилову, погибшему, отстаивая правоту генетики, принадлежат слова, снова возвращающие нас ко временам, когда наука завоевывала себе право на свободное существование: «На костер пойдем, а от своих убеждений не откажемся».

От ученых требуется мужество в отстаивании своих взглядов, честность перед собой и другими и иные качества, которыми обладает только развитая личность, не говоря о высоком интеллектуальном потенциале и желании посвятить себя научным изысканиям.

**Мотивы занятия
наукой**

Что же все-таки заставляет человека становиться ученым? Аристотель, первым рассмотревший этот вопрос подробно, назвал в качестве главного стимула познания мира удивление перед ним. По мнению И. Канта, исследователь — это человек, выслушивающий свидетелей, и данное определение, быть может, лучше всего подходит к современной науке, возникшей из социальной воли к власти над природой, дополняемой интеллектуальным интересом.

Выдающийся современный ученый, основатель теории стресса Г. Селье в своей книге «От мечты к открытию» пишет: «Природа хитроумно устроила так, что большинство полезных вещей

вызывает у нас субъективное чувство приятности. И это касается не только питания и размножения, но и познания. Открытие в области фундаментальных исследований, например, доставляет радость вне зависимости от его возможного практического применения. Но любое приобретенное таким образом знание рано или поздно становится полезным тем, что увеличивает нашу власть над Природой»¹. В подтверждение он приводит слова одной из зачинательниц исследования радиоактивности в XX в. М. Склодовской-Кюри: «Но как раз в этом дрянном старом сарае протекли лучшие и счастливейшие годы нашей жизни, всецело посвященные работе. Нередко я готовила какую-нибудь пищу тут же, чтобы не прерывать ход особо важной операции. Иногда весь день я перемешивала кипящую массу железным прутом длиной почти в мой рост. Вечером я валилась с ног от усталости»². Стремление к поиску и открытию нового — существеннейшая черта подлинной личности.

А. Пуанкаре отмечал эстетическую причину познания: «Ученый изучает природу не потому, что это полезно; он исследует ее потому, что это доставляет ему наслаждение, а это доставляет ему наслаждение потому, что природа прекрасна... Я имею в виду ту глубокую красоту, которая кроется в гармонии частей и которая постигается только чистым разумом... красота интеллектуальная дает удовлетворение сама по себе, и, быть может, больше ради нее, чем ради будущего блага рода человеческого, ученый обрекает себя на долгие и тяжкие труды»³.

«Отыскание истины, — считает А. Пуанкаре, — должно быть целью нашей деятельности; это единственная цель, которая достойна ее»⁴.

Радость открытия в идеале должна перевешивать возможные невзгоды и искушения, которых так много в жизни. «Ученому нужна менее эффектная, но более устойчивая разновидность мужества, с тем чтобы выбрать деятельность, которая наверняка лишит его многих радостей, в том числе в семейной жизни и в достижении благосостояния. Молодым начинающим врачом он должен стремиться к низкооплачиваемой работе в лаборатории, а не к более привлекательной работе в медицинских учреждениях. По мере роста профессионального уровня ему нужна немалая смелость, чтобы отказаться от предложения занять высокооплачиваемую и влиятельную административную должность. Еще большее мужество потребуется для продолжения оригинальной научно-исследовательской работы, не получающей ни моральной, ни материаль-

¹ Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987. — С. 21.

² Там же.

³ Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 292.

⁴ Там же. — С. 155.

ной поддержки»¹. Последнее часто случается, потому что чем более оригинален ученый, тем более он одинок в своих взглядах, даже если его деятельность приносит ему признание. Результат работы крупного ученого — революция в науке (это верно и с точки зрения современной терминологии, принятой в методологии науки), а революция совершается через преодоление сопротивления и рутины.

Г.Селье сформулировал мотивы деятельности ученого:

- бескорыстная любовь к Природе и Правде;
- восхищение красотой закономерности;
- простое любопытство;
- желание приносить пользу;
- потребность в одобрении;
- ореол успеха, преклонение перед героями и желание подражать им;
- боязнь скуки.

**Качества,
необходимые
ученому**

Мотивы и требования к научной работе определяют качества, необходимые ученому. Прежде всего, по мнению Г.Селье, к ним относятся способность к творческой работе — «самой облагораживающей и приносящей удовлетворение деятельности, к которой только способен человеческий мозг»². Именно эта способность сохранять контакт самого фантастического полета мысли с окружающим миром и различать значимые для человечества ценности характерна для оригинальности и независимости творческого мышления. Гений способен не только уноситься в неизведанное, но и возвращаться назад на землю»³. «Считается, что одной из характернейших черт исключительной одаренности является редкое сочетание яркого воображения с щепетильным вниманием к деталям при объективной проверке идей»⁴.

В научном творчестве большое значение имеет сочетание сознательных и бессознательных моментов. Сама научная деятельность несомненно рациональна, но получение результатов невозможно без интуиции. Выдающиеся открытия часто совершались во время прогулки, сна и кажутся совершенно случайными (вспомним легенду от открытия И. Ньютоном закона всемирного тяготения). «Огромное преимущество сознательных видов активности, — писал Г.Селье, — состоит в том, что они поддаются целенаправленному регулированию со стороны воли и интеллекта. Но главной слабостью сознательного разума является

¹ Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987. — С. 57.

² Там же. — С. 61.

³ Там же. — С. 59.

⁴ Там же. — С. 51.

то, что в каждый данный момент времени он может иметь дело только с одной задачей»¹. «К сожалению, инстинкт — это нечто слишком неопределенное, а логика — нечто слишком медлительное для исследования природных явлений»².

Сознание является дополнительным к бессознательному инструментом, контролирующим разум. «Здесь уместна аналогия с подводной лодкой, которая работает под водой, вне досягаемости, но периодически всплывает на поверхность для осмотра и ремонта»³.

Гений наводит мосты между инстинктом и интеллектом, чувством и логикой. Важнейшей чертой творческой личности является гармония.

Возвращаясь к платоновской аналогии между физическими и духовными родами, Г.Селье пишет о «поразительном сходстве между механизмами научного творчества и процессом воспроизводства потомства»⁴. Принципы организации научной работы, по мнению Г.Селье, заставляют вспомнить сократовский метод познания истины посредством спора. «Возможно, наиболее плодотворным внешним стимулом к творческому мышлению является прямой контакт с другими учеными. В этом случае предпочтительна форма неофициальной дискуссии, причем лучше всего ограничиться очень небольшой группой людей, состоящей из двух — четырех специалистов, которые симпатизируют друг другу и интересуются той же проблематикой»⁵.

Незавершенность и критичность науки приводит, по мнению Г.Селье, к необходимости такого качества у ученого, как постоянная неудовлетворенность имеющимся состоянием дел. «Ни одному невозмутимому и самодовольному человеку не удалось достичь реального прогресса в науке»⁶.

В целом Г.Селье выделяет следующие качества, необходимые ученому:

- энтузиазм и настойчивость (преданность цели, устойчивость к неудачам, однообразию и успеху, мужество, здоровье, энергия);
- оригинальность (независимость мышления, воображение, интуиция, одаренность);
- интеллект (логика, память, опыт, способность к концентрации внимания, абстрагированию);
- этика (честность перед самим собой);

¹ Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987. — С. 72.

² Там же. — С. 91.

³ Там же. — С. 82.

⁴ Там же. — С. 75.

⁵ Там же. — С. 84.

⁶ Там же. — С. 48.

- контакт с природой (наблюдательность, технические навыки);
- контакт с людьми (понимание себя и других, совместимость с окружающими людьми, способность организовать группы, убеждать других и прислушиваться к их аргументам);
- постоянная неудовлетворенность собой.

Эти качества присутствуют у разных по складу характера ученых, которых можно разделить на несколько типов.

Г.Селье предлагает следующую классификацию типов ученых.

Типы личности ученых

I. «Делатель».

1. Собиратель фактов. Его интересует только получение новых фактов. Это хороший, добросовестный наблюдатель, лишенный воображения.

2. Усовершенствователь. Постоянно пытается улучшить аппаратуру и методы исследования. Он настолько увлекается их совершенствованием, что не доходит до их применения по назначению.

II. «Думатель».

1. «Книжный червь». Ненасытный читатель, порой обладающий энциклопедическими познаниями, но не стремящийся к экспериментальной работе.

2. Классификатор. Любитель собирать факты какой-либо области исследований и классифицировать их.

3. Аналитик. Ученый, любящий разлагать объекты на составные компоненты, но не интересующийся синтезом нового.

4. Синтезатор. Высший тип ученого, поскольку анализ и классификация служат только предпосылками для синтеза.

III. «Чувствователь».

1. Крупный босс. Прирожденный лидер и игрок по натуре, жаждущий успеха ради успеха. Превосходный политик и организатор, занимающий в конце концов начальственную должность, но не очень стремящийся к непосредственной научной работе.

2. Хлопотун. Испытывает настолько сильное желание все сделать побыстрее, что у него не остается времени подумать о том, что же именно надо делать. Этот вечно спешащий человек не любит Природу, а только насилует ее, овладевая ее телом, но не душой.

3. «Рыбья кровь». Демонстративно невозмутимый скептик, который во всем сомневается, но не очень стремится что-то создавать.

4. Высушенная лабораторная дама. Как правило, технический сотрудник, незаменимый при выполнении скрупулезной работы, но слишком властный и неудовлетворенный.

5. Самолюбователь. Эгоцентрист, пребывающий в постоянном восторге от собственных талантов.

6. Агрессивный спорщик. Его интересует только собственная правота.

7. «Первостатейная акула». Человек, который старается приписать себе чужую работу и постоянно преувеличивает свое значение за счет других.

8. Святой. Альтруист, который занимается наукой ради принесения пользы человечеству и готов пожертвовать всем ради науки.

9. Святоша.

10. Добрячок. Готов пожертвовать интересами науки и своими собственными ради семьи и детей.

У ученых всех этих типов есть недостатки, которые мешают успешно заниматься наукой. Идеальных ученых Г. Селье разделяет на две группы: «фаустов» и «фамулусов».

«1. *Фауст — идеальный учитель и руководитель...* Его главными характеристиками являются: воодушевление от возможностей исследования, а не от собственных возможностей; уважение к интересам других; удивительная способность к выделению наиболее значимых фактов; острая наблюдательность; отсутствие ослепляющего предубеждения к людям и научным данным; железная самодисциплина; редкая оригинальность и воображение, соединенные со скрупулезным вниманием к деталям как в технике лабораторной работы, так и при логическом осмыслении результатов. Его не ломает неудача, не развращает успех...

2. *Фамулус — идеальный ученик и сотрудник...* Его ум не так развит, как у его духовного наставника, и совсем не обязательно он превосходит последнего своим юношеским задором... Но его тело значительно лучше выдерживает трудности лабораторных работ, его взгляд острее, движения более уверенны; он может часами стоять у лабораторного стола, не испытывая усталости, и, что важнее всего, у него впереди достаточно много времени, чтобы сделать свои мечты реальностью»¹.

Наука и ценности

Мы отмечали в качестве одной из характеристик науки ее внеморальность. Однако это не означает, что ценности не имеют никакого значения в естествознании. Сама наука представляет собой определенную ценность. Культурные ценности, господствующие в данном обществе, служат одним из оснований и ограничений развития науки. Скажем, в Китае была запрещена вивисекция, и это привело к тому, что ни анатомия как отрасль науки, ни хирургия как область практической медицины ни достигли должного уровня, но зато получили распространение диагностика по пульсу, иглоукалывание и т.п. В настоящее время на Западе модно движение за запрет вивисекции. Это, конечно, не может не отразиться на науке и технике.

¹ Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987. — С. 44—45.

В пределах одной культуры меняющиеся общественные ценности также влияют на развитие науки. Небулярная гипотеза происхождения Солнечной системы П. С. Лапласа и И. Канта подходила к относительно спокойному XVIII в. Новые представления о Большом взрыве и расширяющейся Вселенной больше соответствуют ритмам XX в. Конечно, философские и социальные ценности прошлого также помогают выдвинуть научную гипотезу и сформулировать сегодняшнюю научную проблему (атом Демокрита, Космос в понимании древних греков и т. д.), хотя окончательный приговор выносит опыт.

Вопрос о соотношении научных принципов и социальных ценностей стоит в современной науке особенно остро. Возросшая мощь науки в сочетании с ее традиционной целью обеспечения господства над природой приводит к тому, что наука становится все более агрессивной, особенно экспериментальная. Многие опыты над животными — это изучение через уничтожение. И они продолжают до сих пор во все большем масштабе.

Агрессивность современной науки заключается также в том, что около 40 % ученых так или иначе связаны с решением задач, имеющих отношение к военной сфере. Направление развития науки во многом определяется целями, которые ставят перед наукой общество и государство.

Подтверждением тезиса о роли ценностей в научном познании служат неудачные попытки методологии неопозитивистского толка разграничить теоретический и эмпирический уровни исследования и свести первый ко второму. Однако это невозможно, поскольку использование приборов неразрывно связано с существующим теоретическим уровнем знания; имеется также ряд других принципиальных причин.

Наука и этика

По своим результатам наука свободна от моральной оценки. Например, принципы притяжения и отталкивания совершенно равнозначны в нравственном смысле, и ученый не относится к положительно заряженным частицам лучше, чем к отрицательно заряженным. Закон природы выводится вне зависимости от каких-либо этических соображений в отличие от закона юридического.

Сущность науки внеморальна, но это не означает, что этика не имеет к науке отношения. Она может воздействовать на ход исследований. «Тот факт, что человека нельзя подвергать экспериментам без его желания и согласия (именно поэтому исследователь может производить опасные опыты только над самим собой), следует, правда, не из сущности науки, но из принципа гуманности и прав человека»¹, — писал К. Ясперс.

¹ Ясперс К. Смысл и назначение истории. — М., 1994. — С. 108.

В процессе развития современной науки и ее технических возможностей появляются все новые проблемы, требующие этического рассмотрения. На этапе возникновения науки в Новое время наиболее важны были мировоззренческие задачи — желание доказать пользу и ценность науки; затем — собственно познавательные и, наконец, технические. Сейчас в эпоху экологического кризиса, в котором обвиняют науку, последняя должна подтверждать свое реноме. Моральный кризис науки проявляется в той точке, в которой она становится всесильной. «В реальной науке и ее этике произошли изменения, которые делают невозможным сохранение старого идеала служения знанию ради него самого... Мы были убеждены, что это никогда не сможет обернуться злом, поскольку *поиск истины есть добро само по себе*. Это был прекрасный сон»¹, — писал выдающийся физик XX в. М. Борн.

Наука, несомненно, благо, так как она дает истинное знание. *Если само по себе научное знание этически нейтрально, его применение включает этические соображения*. Наука может содействовать процессу принятия решений благодаря определению последствий возможного выбора. Кроме того, ученые наряду с другими людьми могут участвовать в выборе и принятии решений.

Современная наука исполнила многие пророчества, содержащиеся в фантастическом произведении Ф. Бэкона «Новая Атлантида», обеспечивая могущество человека над силами природы. Но ученые Новой Атлантиды делали еще и то, что не известно современной науке: «На наших совещаниях мы решаем, какие из наших изобретений и открытий должны быть обнародованы, а какие нет»². Ф. Бэкон, по-видимому, понимал, что не все достижения науки и техники служат благу народа. Это убеждение особенно актуально в наши дни, когда становится ясно, что техническая реализация научных достижений увеличивает риск непредвиденных последствий. Результатом ценностной переориентации должна быть большая осторожность науки как фундаментальной, так и прикладной в ее исследованиях и реконструкциях. В связи с этим симптоматичным выглядят призывы генетиков запретить проведение некоторых опасных по своим возможным последствиям экспериментов.

Сейчас кажутся странными рассуждения древнегреческих философов о том, что раб — это говорящее орудие, к которому неприменимы обычные представления о человеческом достоинстве. Но мы совершенно спокойно рассуждаем о том, что к живым существам неприменимы представления о справедливости и долге. Не исключено, что нашим потомкам эти представления

¹ Борн М. Моя жизнь и взгляды. — М., 1973. — С. 130.

² Бэкон Ф. Новая Атлантида. — М., 1962. — С. 33.

покажутся столь же нелепыми, как и представления древних греков о рабах.

Современные социобиологические исследования позволяют заключить, что этика не есть набор некоторых абсолютных положений, сформулированных раз и навсегда. Напротив, выясняется, что нравственные максимы имеют эволюционный характер, и сама этика как наука развивается. Это значит, что в нашу переломную эпоху, когда действительность изменяется с головокружительной быстротой, соревнуясь с прогрессом науки и техники, могут произойти не менее ощутимые изменения в этике. Экспансия науки на новые сферы действительности, более интенсивное воздействие на природную среду созданной на научной основе техники и рост вследствие этого ответственности за состояние мира порождают новые регуляторы научной деятельности. Появляются биоэтика, компьютерная этика, инженерная этика, экологическая этика, глобальная этика и т. п.

Отныне ученый должен брать на себя все большую ответственность за окружающий мир. Проводить данные исследования или не проводить, сообщать об их результатах или нет — эти этические дилеммы все острее встают по мере научно-технического прогресса. В конечном счете новые этические проблемы вращаются вокруг вопросов о том, выше ли ценность человека, чем животных (биоэтика), рода, чем индивида (медицинская этика), планеты, чем человека (глобальная этика), человека, чем созданной им техники (инженерная и компьютерная этика).

Биоэтика Вопросы, касающиеся этических аспектов отношения к живым существам, рассматривает биоэтика. Это наука новая, но многие из затрагиваемых ею проблем обсуждались еще в древнем мире: юридические проблемы (можно ли по отношению к живым существам соблюдать правовые обязательства в условиях, когда животные не могут заключать с нами договоров, т. е. могут ли живые существа быть равноправны с человеком в юридическом смысле), ценностные проблемы (могут ли живые существа рассматриваться как равноценные с людьми). В Древней Греции велась полемика по этим вопросам, а среди мнений встречались не только противоположные, но и промежуточные. Живые существа признавались равноправными, но не равноценными, или равноценными, но не равноправными.

Современные исследования в области этологии неопровержимо доказывают, что животных нельзя считать механизмами, как полагал Р. Декарт. Они чувствуют, как люди, и это должно учитываться при проведении научных экспериментов. Значит, все эксперименты, в которых животным причиняется боль, безнравственны? Но ведь большинство лекарств апробированы в экспериментах над животными. По-видимому, нельзя полностью избежать зла

в отношениях с природой и считать себя безгрешными. Чистая совесть, по мнению А. Швейцера, — изобретение дьявола. Людям еще долго придется «откупаться» переживаниями и созданием памятников экспериментальным животным.

Экспериментирование над животными есть современная форма жертвоприношений во имя интересов человека, а сетования по поводу гибели природы напоминают извинения древних охотников перед убитым зверем. С нравственной точки зрения вопрос остается таким же, как и тысячи лет назад: допустимо ли убийство и при каких обстоятельствах?

Единственное рациональное основание экспериментов над животными, идущее от Аристотеля через Фома Аквинского к современным ученым и философам, представление о том, что человек высшее по сравнению с другими земными видами существо. Но это именно рациональное основание, а не оправдание, потому что истина связана со справедливостью, т.е. включает в себе нравственное начало, а причинение вреда другим существам не может быть нравственным.

Появление новой науки — биоэтики помимо традиционных вызвано новыми проблемами, связанными, скажем, с истреблением не только отдельных представителей, но и целых видов животных и растений.

Термин «биоэтика» введен американским биологом В.Р. Поттером, который охарактеризовал ее, как «соединение биологического знания и человеческих ценностей», как «науку о выживании», «научный гуманизм», «этическое руководство», «новую культуру». По определению К.Вокса, *биоэтика исследует новые проблемы, присущие техническому прогрессу, и осуществляет поиск нравственных ценностей, которые могли бы стать руководством для принятия решений в ситуациях взаимодействия человека и технологии.*

В любой конкретной ситуации возникают три вопроса: какие знания дает нам прошлое? каких действий требует от нас совесть и здравый смысл в настоящем? каковы будут последствия каждого поступка в будущем?

В биоэтике объединяются различные проблемы, так как они имеют очевидный биологический компонент, определяющий процессы рождения и смерти живого существа. Но несмотря на синтетический характер, биоэтика не превращается в биофизику или биохимию в силу специфики этики как науки особого рода с особым статусом. Конкретная наука абсолютна по содержанию, но относительна по ценности. Этика как часть философии абсолютна по ценности, но относительна по содержанию. Положения этики полностью определяют жизнь человека, но не обязательны для всех. Положения науки не полностью определяют жизнь человека, но обязательны для всех.

Биоэтика может быть естественной наукой, рассматривающей конкретные квазиэтические принципы, действующие в самой природе. Но биоэтика также раздел этики, которая влияет на человеческие ценности и нравственный выбор. Чтобы биоэтика смогла стать чем-то наподобие биофизики, необходимо, чтобы наука преодолела нравственную амбивалентность. Тогда ценности и факты будут составлять в ней одно целое. Предпосылкой такой науки является представление о природе как ценности. В такой науке из ценностей следовали бы факты, из фактов непосредственно вытекали бы ценности. Так случится, если, скажем, определить красоту как элемент, способствующий выживанию человека и биосферы.

Основная задача биоэтики — выработка системы нравственного регулирования научной деятельности биологов, медиков, представителей других дисциплин, вторгающихся в среду. Как этот процесс влияет на результаты исследований? Китайскому философу Лао-цзы принадлежит афоризм: «Только настоящий человек обладает истинным знанием». Что значат эти слова? Не реализуя полностью свою целостную духовно-душевную природу, человек не может понять мир. Если он использует только свой интеллект, его познание неполноценно. Например, использование жестоких методов подсчета численности животных, приводящих к их гибели, искажает реальную картину существования природных сообществ.

Итак, биоэтика ценна в трех смыслах. Прежде всего одно из ее направлений имеет объективное значение: анализ этических дилемм, которые влечет за собой развитие новых научных направлений. Это направление будет совершенствоваться в любом случае. Биоэтика имеет отношение и к набору вариантов нравственного выбора ученых. Наконец, она может рассматриваться как модель науки будущего, соединяющей нравственность и объективное знание.

В практическом плане следует отметить беспрецедентный в истории науки случай моратория, введенного в 1975 г. самими учеными на исследования в области выведения новых штаммов бактерий. Этот продержавшийся недолго запрет — первая ласточка, за которой следуют другие.

Сегодня официально запрещены исследования по клонированию человека — созданию генетических двойников.

**Проблема
ответственности
ученого**

Одним из важнейших является вопрос об ответственности ученых. Кто ответственен за негативные последствия данного научного открытия и его внедрения в практику: ученый; технический разработчик, который доводит его открытие до практики; создатель инженерной системы; заказчик; правительство; рабочие, занятые в производстве; окружающие; все люди? Это далеко не праздный вопрос,

когда дело доходит, скажем, до распределения ответственности за аварию на Чернобыльской АЭС. Можно построить иерархию ответственности. Виновными могут быть признаны многие, но в разной степени: например, человек, не подозревавший о данном сооружении или оружии, и человек, разработавший его. Об академике А.Д. Сахарове говорили, что участием в правозащитном движении он как бы реабилитирует себя за изобретение водородной бомбы. Известно, как переживал Р. Оппенгеймер после атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Можно полагать, что ученые-теоретики не ответственны за создание оружия, но надо оказаться на месте В. Гейзенберга, чтобы объективно подойти к решению этой проблемы.

Конечно, выяснением только нравственной ответственности здесь ограничиваться нельзя. Необходимо ставить вопрос и о правовой ответственности по законам, регулирующим научную деятельность.

Проблема ответственности связана с пониманием того, за что человек отвечает. Ученый, расщепивший атом урана, конечно, мог не знать, что его открытие приведет к созданию атомной бомбы, и в этом смысле он менее ответственен, чем разработчик атомного оружия. С другой стороны, непонимание вследствие недостатка информации не служит смягчающим обстоятельством, если человек мог бы узнать, но не захотел этого сделать. Как незнание юридического закона не избавляет от правовой ответственности, так не избавляет человека от нравственной ответственности нежелание знать и предвидеть последствия своей деятельности. Лучший критерий нравственности — совесть, которую Фома Аквинский называл присутствием Бога в человеке. Если совесть неспокойна, значит что-то сделано не так.

Ответственность за научные результаты не снимается, если ученый не может предугадать всех последствий, и это необходимо, чтобы стимулировать его поиски адекватного прогноза. Тем более не снимается ответственность за применение открытия, которому ученый может потенциально воспрепятствовать, не сообщая о своих открытиях. Научная информация, доступная государству, должна сообщаться населению.

**Нужны ли
нравственные
кодексы ученых?**

Ответ на этот вопрос имеет большое значение. На него пытался ответить еще Гиппократ. *Кодекс* — это конкретизация основных нравственных правил на основе имеющегося в данной области знания и практики опыта. Может ли он принести вред? Может при своей абсолютизации и догматизации, когда забывается, что главной нравственной инстанцией является совесть, а не писанные правила. Но несмотря на риск (а любая деятельность, в том числе в области морали, нравственно рискованна), кодексы, регулирую-

ющие поведение в определенной профессиональной сфере, как и клятва Гиппократата, нужны.

В античные времена существовала парадигма «знание ради знания», потому что вместо техники работали рабы и не надо было знание применять на практике. В наше время науку стали называть непосредственной производительной силой. Но непосредственное вторжение науки в действительность оборачивается экологическими и нравственными проблемами, которые следует решать до, а не после внедрения научных достижений. Поэтому между научным открытием и его практическим применением должно быть время для оценки. Да и вообще не все научные достижения надо внедрять, что понимал еще Ф. Бэкон, который в «Новой Атлантиде» выделил из всех научных открытий такие, о которых даже не сообщается. Тем более сложно обстоит дело сейчас, когда человечество стало, по словам В. И. Вернадского, геологической силой на нашей планете. Нравственность не мешает науке, а ориентирует ее определенным образом. Именно такая ориентация обеспечивает истинное знание, которое находится в единстве с добром и красотой.

Вопросы для повторения

1. Каковы мотивы научной деятельности?
2. Какое значение имеет в науке личность?
3. Какие качества необходимы ученому?
4. Какие существуют типы ученых?
5. Каким должен быть идеальный ученый?
6. Как соотносится научная истина с добром и красотой?
7. Как связаны чувства и разум ученого в процессе научной деятельности?
8. Сравните познание и нравственность как формы общественного сознания.
9. Что такое этика науки?
10. Каков статус биоэтики?

Задания к семинару

- I. Ответьте на вопросы.
 1. Какова роль личности в развитии науки?
 2. Каково влияние национального характера ученого и культуры, в которой он воспитан, на его работу?
 3. Был бы открыт закон всемирного тяготения, если бы не родился И. Ньютон?
 4. Каковы мотивы занятия наукой?
 5. Какими качествами должен обладать ученый?
 6. Какова роль в науке мужества, честности, интеллекта, удивления, интереса?

7. Почему И. П. Павлов поставил перед своим институтом памятник собаке?

8. Почему возрастает роль этических аспектов науки?

9. Кто прав — З. Фрейд или А. Эйнштейн — в споре о том, должен ли ученый бороться против опасности войны и других деструктивных действий человека, и имеет ли это смысл?

10. Какова роль ценностей в науке?

11. Каковы ценностные условия возникновения науки в Новое время?

12. В чем специфика биоэтики как науки особого типа?

13. Как этические аспекты влияют на развитие науки в наше время?

14. Необходимы ли нравственные кодексы ученых?

15. Каковы традиции русской научной школы?

16. Что породило необходимость создания глобальной этики, этики Земли, этики благоговения перед жизнью, компьютерной этики, инженерной этики и т. п.?

17. Каковы традиционные и новые проблемы этики науки?

18. Что входит в нравственный кодекс ученых?

19. Какие разновидности научной этики вы знаете?

20. Каков нравственный идеал науки?

21. Трое знаменитых ученых в сходной ситуации вели себя по-разному: Н. Коперник был против публикации своей гелиоцентрической картины мира, Дж. Бруно отказался отречься от своих взглядов, Г. Галилей публично отрекся под давлением католической церкви. Как бы вы поступили на их месте?

II. Прокомментируйте высказывания.

«Одна из особенностей моей работы состоит в том, что я почти не перестаю думать о текущей проблеме. Я редко отрываюсь, если только не происходит чего-то действительно требующего моего внимания, вроде ведения машины в опасном месте. Тогда приходится прерываться, но непрерывность для меня кажется очень важной: мне нужно продолжать работу мысли» (Дж. Чу).

«Я никогда не читаю. Это мешает мне думать» (П. Дирак).

III. Прокомментируйте схемы.

1. Мотивы деятельности ученого

Радость познания, стремление к поиску, удивление, красота природы, отыскание истины, интеллектуальный интерес, любопытство, престиж, любовь к природе и правде, желание приносить пользу, ореол успеха (желание подражать великим), боязнь скуки.

2. Качества, необходимые ученому

Способность к творческой работе (оригинальность мышления, воображение, интуиция), интеллект (логика, память, опыт, способность к концентрации внимания, абстрагированию), энтузиазм и настроенность (преданность цели, устойчивость к удаче, однообразию и неудачам, мужество, здоровье, энергия, самодисциплина), честность перед самим собой, стремление к истине, контакт с природой (наблюдательность,

технические навыки), контакт с людьми (понимание себя и других, совместимость с окружающими, способность организовывать группы, убеждать других и прислушиваться к их аргументам), постоянная неудовлетворенность собой.

3. Типы личности ученых

А. «Делатели» (собиратели фактов, усовершенствователи методов).

Б. «Думатели» (книжные черви, классификаторы, аналитики, синтезаторы).

В. «Чувствователи» (крупные боссы, невозмутимые скептики, высушенные лабораторные дамы, самолюбователи, агрессивные спорщики, первостатейные акулы, святые, святоши, добрячки).

Г. Идеальный тип — Фауст (испытывающий воодушевление от возможностей исследования, а не от собственных возможностей).

Д. Идеальный ученик — Фамулус (острый взгляд, уверенные движения, выносливость).

4. Отличие научных положений от этических

Положения науки

Закон, гипотеза, теория

Ценностно нейтральные

Описание

Детерминация

Обобщение

Обязательны для всех

Относятся к части человека

и его поведения

Положения этики

Постулат, максима

Ценностно значимые

Норма

Свобода

Индивидуальный выбор

Обязательны для данной культуры

Определяют все поступки человека во всех сферах

Литература

Краткий миг торжества: Сб. ст. / Сост. В. Черникова. — М., 1989.

Леопольд О. Этика Земли // Календарь песчаного графства. — М., 1983.

Селье Г. От мечты к открытию. — М., 1987.

Швейцер А. Культура и этика. — М., 1973.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное естествознание представляет собой сложную, разветвленную систему наук. Ведущими науками XX в. по праву можно считать физику, астрономию, биологию и кибернетику (неразрывно связанную с вычислительной техникой и компьютеризацией). В рамках физики, в свою очередь, выделяются ядерная физика, теория относительности, квантовая механика и синергетика. Важнейшими составными частями биологии являются эволюционное учение, генетика, экология и этология, нашедшие свое продолжение в естественных науках о человеке, изучающих его происхождение, индивидуальное и видовое развитие. Усиливаются взаимосвязи как внутри самого естествознания, так и между естественными, гуманитарными и техническими науками.

Вторая половина XX в. — это время научно-технической революции, характеризующейся лидирующей ролью науки по отношению к технике и материальному производству. Современное производство немыслимо без опережающего развития фундаментальных наук и прикладных научных разработок. Если государство не заботится о развитии науки, оно не заботится о своем будущем. Но усиление влияния науки на общество и природу приводит к возникновению ряда трудно решаемых глобальных проблем. Это свидетельствует о противоречивом характере взаимодействия науки, общества и природы, причем ведущим звеном этой цепи следует считать само общество, тип присущих ему отношений между определенными характеристиками его развития.

Необходимо помнить о сложном, опосредованном характере взаимосвязи теории и практики. Прямой, без учета конкретных обстоятельств, перенос абстрактных положений теории в практику всегда чреват большим риском. Особенно опасно такое «применение» теории в том случае, когда науку искусственно подчиняют идеологическим установкам.

Что говорит современное естествознание о самом объективном мире? То, что он одновременно и един, и удивительно многообразен в беспрестанном процессе взаимопревращения одних конечных систем в другие; что он является единой самообусловленной системой, каждая часть которой только относительно самостоятельна и неизбежно зависима от других конечных систем и общих законов бытия. В любом своем аспекте мир самопротиворе-

чив, поэтому в его характеристике нельзя ограничиваться какой-то одной стороной — обязательно нужно помнить и о противостоящей ей стороне.

Самопротиворечивость присуща и любой частной системе. Самопротиворечивость частных систем можно раскладывать на противоречия между разными системами. Такой подход оправдан и полезен, он закреплен в правилах формальной логики. Однако привычка оперировать понятиями в рамках такого подхода приводит к фиксации расчлененности мира и забвению того, что он вместе с тем един и целостен. Таким образом, мы снова возвращаемся к мысли о необходимости учитывать не только противоречия между разными объектами, но и их собственную самопротиворечивость.

Противоречивость присуща и процессу познания природы. Объективная истина дана не сразу целиком и полностью, а в виде практически бесконечного процесса смены одних относительных истин другими. Относительные и потому не зависящие от дальнейшего развития науки истины наряду с элементами объективности содержат в себе и заблуждения — или по части самого содержания истины, или по части сферы границ ее применения. Освобождаясь от заблуждений, наука обогащается все более глубокими и общими теориями. Этот способ развития научного знания отражен в принципе соответствия. Знакомство с историей естествознания предостерегает и от необдуманного оптимизма, и от чрезмерного пессимизма в оценке познавательных возможностей человека. История учит нас придерживаться реалистической точки зрения.

Знакомясь с историей науки, важно обращать внимание на способы, методы познания, применявшиеся при решении тех или иных задач. В рамках общего научного метода следует придерживаться следующих методологических принципов: 1) допускать в качестве исходных интуиций ясные и отчетливые мысли, истинность которых несомненна (о чем писал французский философ и математик Р. Декарт); 2) расчленять сложные проблемы на частные, двигаться от простого к сложному; 3) последовательно переходить от известного к неизвестному, от доказанного к недоказанному; 4) не допускать пропусков в логических звеньях исследования. Все это полезно учитывать при изучении каждой темы данного курса.

В XX в. был расшифрован геном человека, что открыло новые необычайные перспективы изменения наследственности. Нельзя сказать точно, какие открытия будут сделаны в XXI в., но можно с уверенностью утверждать, что они во многом изменят представления о науке и жизни. Приведут ли они к росту технического могущества человека и увеличению продолжительности жизни (до 100 — 120 лет), как утверждают сциентисты — люди, ве-

рящие, что наука сделает человека всемогущим и чуть ли не бессмертным? Или, наоборот, грядущие научные достижения усугубят глобальные проблемы — экологические, демографические, продовольственные, технологические, предотвращения мировой термоядерной войны, как предупреждают антиискусствоведы, — люди, боящиеся, что наука погубит Землю? Эти вопросы столь же неразрешимы, как и вопрос о том, какие именно качественно новые открытия будут совершены. Более того, данный вопрос выходит за рамки науки как таковой, и решение его зависит не столько от ученых, сколько от государственной политики и по большому счету — от каждого человека, от его мыслей, чувств и деятельности, даже, возможно, весьма далекой от науки.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К КУРСУ «КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

Вопросы для проверки школьных знаний

1. Почему бывает день и ночь, зима и лето?
2. Почему на экваторе всегда тепло, а на полюсах холодно?
3. Почему Земля вращается вокруг Солнца, а не Солнце вокруг Земли?
4. Почему Земля вращается именно вокруг Солнца, а не других звезд?
5. Почему Земля вращается вокруг Солнца, а человек вокруг человека нет?
6. Почему камень падает на Землю, а космический корабль улетает в Космос или вращается вокруг Земли?
7. Что должно быть между людьми, чтобы они слышали друг друга и почему?

Вопросы для экспресс-опроса

1. Что такое НТР, каковы ее достижения и на основе каких наук?
2. Каковы характерные черты науки?
3. Каковы циклы наук и их предмет?
4. Какова структура естественно-научного познания?
5. Каковы типы методов и отдельные методы научного познания?
6. Что такое научная революция и какие научные революции вы знаете?
7. Какие основные научные данные входят в модель Большого взрыва и расширяющейся Вселенной?
8. Какие основные процессы происходят в ядрах галактик, недрах звезд и планет?
9. Каковы основные этапы эволюции звездных систем?
10. В чем суть современной теории развития Земли?
11. Каковы основные выводы теории относительности?
12. Каковы основные выводы квантовой механики?
13. Каковы основные выводы синергетики?
14. Какие виды материи вы знаете и чем они различаются?
15. Какие основные физические взаимодействия вы знаете и чем они различаются?
16. Каковы основные этапы происхождения жизни?
17. Каковы основные выводы генетики?
18. Каков механизм воспроизводства жизни?
19. Каковы основные законы экологии?
20. Каковы основные результаты учения В. И. Вернадского о биосфере?
21. Каковы основные результаты общей теории эволюции?
22. Каковы основные результаты концепции коэволюции?

23. Каковы основные результаты социобиологии?
24. Каковы основные результаты этологии?
25. Какие виды человека существовали на Земле и чем они различаются?
26. Каковы основные результаты нейрофизиологии?
27. Каковы основные результаты кибернетики?
28. Чем отличается гипотеза «расширяющегося сознания» от классической модели сознания?
29. Каковы фазы этногенеза по Л. Н. Гумилеву?
30. Каковы уровни организации материи?
31. Каковы основные особенности современной естественно-научной картины мира?
32. Каково значение естествознания для гуманитарной культуры?
33. Какие качества нужны ученому и какие типы ученых существуют?
34. Какое значение в науке имеют этические проблемы?
35. Чем отличается наука от религии?
36. Чем отличается наука от искусства?
37. Чем отличается наука от мистики?
38. Чем отличается наука от техники?
39. Чем отличается наука от философии?
40. Что такое точка сингулярности?
41. Что такое красное смещение и реликтовое излучение?
42. Почему светит Солнце?
43. Что такое термоядерный синтез и термоядерный распад?
44. Чем планета отличается от звезды?
45. Чем общая теория относительности отличается от специальной?
46. Что такое пространственно-временной континуум?
47. Чем отличаются представления о пространстве и времени в теории относительности от классических?
48. Почему теория относительности так называется?
49. Почему квантовая механика так называется?
50. Что такое корпускулярно-волновой дуализм?
51. Что такое субъект-объектное единство?
52. Что такое детерминизм и индетерминизм?
53. Что такое принцип дополнительности?
54. Что такое энтропия?
55. Что такое информация?
56. Что такое точка бифуркации?
57. Чем отличается живое от неживого?
58. Каковы условия возникновения жизни на Земле?
59. Почему генетика так называется?
60. Что такое генная инженерия?
61. Что такое биосинтез и как он осуществляется?
62. Что такое мутация?
63. Что такое клонирование?
64. Что такое сообщество?
65. Что такое популяция?
66. Что такое ноосфера?
67. Сколько на Земле видов жизни и зачем их столько нужно?
68. Что такое симбиоз?

69. Что такое сукцессия?
70. Какие виды научения вы знаете?
71. Что изучает психобиология?
72. В чем отличие человека от животных?
73. Каков механизм передачи информации в нервной системе?
74. Что такое обратная связь?
75. Что такое гомеостаз?
76. Что такое функциональная асимметрия мозга?
77. Что такое научный закон?
78. Как связан закон с целесообразностью?
79. Какие концепции целесообразности существуют?
80. Что такое научная теория и чем она отличается от гипотезы и обобщения?
81. Что такое концепция?

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ЧАСТЬ II

ХРЕСТОМАТИЯ

Карл Раймунд Поппер

ЛОГИКА И РОСТ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

ЛОГИКА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведенного анализа я рассмотрел различные следствия принятых мною методологических решений и конвенций, в частности критерия демаркации, сформулированного в начале настоящей книги. Оглядываясь назад, мы можем теперь попытаться охватить единым взором ту картину науки и научного исследования, которая была нами нарисована. (Я не имею в виду картину науки как биологического феномена, как инструмента приспособления или как одного из средств производства — меня интересуют лишь ее эпистемологические аспекты.)

Наука не является системой достоверных или хорошо обоснованных высказываний; она не представляет собой также и системы, постоянно развивающейся по направлению к некоторому конечному состоянию. Наша наука не есть знание (*epistēmē*): она никогда не может претендовать на достижение истины или чего-то, заменяющего истину, например вероятности.

Вместе с тем наука имеет более чем только биологическую приспособительную ценность. Она не только полезный инструмент. Хотя она не может достигнуть ни истины, ни вероятности, стремление к знанию и поиск истины являются наиболее сильными мотивами научного исследования.

Мы не знаем — мы можем только предполагать. И наши предположения направляются ненаучной, метафизической (хотя биологически объяснимой) верой в существование законов и регулярностей, которые мы можем обнаружить, открыть. Подобно Бэкону, мы можем описать нашу собственную современную науку «метод познания, который человек в настоящее время применяет к природе» как состоящую из «поспешных и незрелых предвосхищений» и из «предрассудков».

Однако эти удивительно образные и смелые предположения, или «предвосхищения», тщательно и последовательно контролируются систематическими проверками. Будучи выдвинутым, ни одно из таких «предвосхищений» не защищается догматически.

Наш метод исследования состоит не в том, чтобы защищать их, доказывая нашу правоту; напротив, мы пытаемся их опровергнуть. Используя все доступные нам логические, математические и технические средства, мы стремимся доказать ложность наших предвосхищений с тем, чтобы вместо них выдвинуть новые неоправданные и неоправдываемые предвосхищения, новые «поспешные и незрелые предрассудки», как иронически назвал их Бэкон.

Два способа проверки научных теорий — подтверждение и опровержение — отличаются друг от друга тем, что при подтверждении действует принцип: «чем больше подтверждающих проверок, тем лучше», а при опровержении достаточно одного фальсифицирующего опыта (который называется решающим экспериментом). Поэтому научное исследование ориентируется на опровержение, а не на подтверждение научных теорий.

Путь науки можно интерпретировать и более прозаически. Можно сказать, что научный прогресс «...осуществляется лишь в двух направлениях — посредством накопления нового чувственного опыта и посредством лучшей организации опыта, который уже имеется». Однако такое описание научного прогресса хотя и не является совершенно ошибочным, тем не менее представляется несостоятельным. Оно слишком напоминает бэконовскую индукцию — усердный сбор винограда с «бесчисленных вполне зрелых лоз», из которого он надеялся выжать вино науки — его миф о научном методе, который начинает с наблюдений и экспериментов, а затем переходит к теориям. (Между прочим, этот легендарный метод все еще продолжает вдохновлять некоторые новые науки, которые пытаются применять его, будучи убеждены в том, что это метод экспериментальной физики.)

Прогресс науки обусловлен не тем, что с течением времени накапливается все больший перцептивный опыт, и не тем, что мы все лучше используем наши органы чувств. Из неинтерпретированных чувственных восприятий нельзя получить науки, как бы тщательно мы их ни собирали. Смелые идеи, неоправданные предвосхищения и спекулятивное мышление — вот наши единственные средства интерпретации природы, наш единственный органон, наш единственный инструмент ее понимания. И мы должны рисковать для того, чтобы выиграть. Те из нас, кто боится подвергнуть риску опровержения свои идеи, не участвуют в научной игре.

Даже тщательная и последовательная проверка наших идей опытом сама в свою очередь вдохновляется идеями: эксперимент представляет собой планируемое действие, каждый шаг которого направляется теорией. Мы не наталкиваемся неожиданно на наши восприятия и не плывем пассивно в их потоке. Мы действуем активно — мы «делаем» наш опыт. Именно мы всегда формулируем

вопросы и задаем их природе, и именно мы снова и снова ставим эти вопросы так, чтобы можно было получить ясное «да» или «нет» (ибо природа не дает ответа, если ее к этому не принудить). И в конце концов именно мы даем ответ; мы сами после строгой проверки выбираем ответ на вопрос, который мы задали природе, и делаем это после длительных и серьезных попыток получить от природы недвусмысленное «нет». «Раз и навсегда, — говорит Вейль, с которым я полностью согласен, — я хочу выразить безграничное восхищение работой экспериментатора, который старается вырвать интерпретируемые факты у неподатливой природы и который хорошо знает, как предъявить нашим теориям решительное “нет” или тихое “да”».

Старый научный идеал *epistēmē* — абсолютно достоверного, демонстративного знания — оказался идеалом. Требование научной объективности делает неизбежным тот факт, что каждое научное высказывание должно всегда оставаться временным. Оно действительно может быть подкреплено, но каждое подкрепление является относительным, связанным с другими высказываниями, которые сами являются временными. Лишь в нашем субъективном убеждении, в нашей субъективной вере мы можем иметь «абсолютную достоверность».

С идолом достоверности (включая степени неполной достоверности, или вероятности) рушится одна из защитных линий обскурантизма, который закрывает путь научному прогрессу, сдерживая смелость наших вопросов и ослабляя строгость и чистоту наших проверок. Ошибочное понимание науки выдает себя в стремлении быть всегда правым. Однако не обладание знанием, неопровержимой истиной делает человека ученым, а его постоянное и отважное критическое стремление к истине.

Не будет ли в таком случае наша позиция одной из форм смирения? Не должны ли мы сказать, что наука может выполнять только свою биологическую задачу, что в лучшем случае она может доказать лишь свою устойчивость в практических приложениях, которые ее подкрепляют? Не являются ли ее интеллектуальные проблемы неразрешимыми? Я так не думаю. Наука никогда не ставит перед собой недостижимой цели сделать свои ответы окончательными или хотя бы вероятными. Ее прогресс состоит в движении к бесконечной, но все-таки достижимой цели — к открытию новых, более глубоких и более общих проблем и к повторным, все более строгим проверкам наших всегда временных, пробных решений.

Добавление 1972 года

В главе X своей книги (которая является заключительной) я пытался ясно сказать о том, что под степенью подкрепления тео-

рии я понимаю фиксацию того, что теория выдержала проверки и насколько строгими были эти проверки.

Я никогда не отступал от этой точки зрения. Здесь же я хочу добавить следующее.

(1) Логическая и методологическая проблема индукции не является неразрешимой. В моей книге я дал отрицательное решение проблемы: (а) Мы никогда не можем рационально оправдать теорию, то есть нашу веру в истинность теории или в то, что она вероятно истинна. Это отрицательное решение совместимо со следующим позитивным решением, содержащимся в правиле предпочтения тех теорий, которые подкреплены лучше других. (б) Иногда мы можем рационально оправдать предпочтение, оказываемое некоторой теории в результате ее подкрепления, то есть в результате оценки современного состояния критического обсуждения конкурирующих теорий, которые были подвергнуты критическому рассмотрению и сравнению с точки зрения их близости к истине (правдоподобности).

Существующее в каждое определенное время состояние такого обсуждения в принципе можно фиксировать в форме степени подкрепления теорий. Однако степень подкрепления не является мерой правдоподобности (такая мера должна быть вне-временной). Она представляет собой лишь фиксацию того, что мы успели узнать к определенному моменту времени о сравнительных достоинствах конкурирующих теорий посредством оценки имеющихся оснований в пользу и против их правдоподобности.

(2) Метафизическая проблема, связанная с идеей правдоподобности, такова — существуют ли в природе подлинные закономерности? Мой ответ на этот вопрос: «Да». Один из аргументов (не научный, а, скорее, «трансцендентальный») в пользу такого ответа состоит в следующем: если в природе мы не сталкивались бы с закономерностями, то ни наблюдение, ни язык не могли бы существовать — ни язык описания, ни язык аргументации.

(3) Убедительность этого ответа зависит от принятия некоторой формы реализма здравого смысла.

(4) Прагматическая проблема индукции разрешается сама собой — предпочитать теорию, которая в результате рационального обсуждения кажется ближе к истине, чем другие теории, рискованно, но рационально.

(5) Психологическая проблема индукции (почему мы верим в то, что избранная таким образом теория будет и в дальнейшем оправдывать наше доверие?) мне представляется тривиальной — вера или доверие всегда иррациональны, хотя и важны для действия.

(6) Не все вообще возможные «проблемы индукции» можно решить указанным путем.

КРИТЕРИЙ ЭМПИРИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(1) Предварительный вопрос. Юмовская проблема индукции, то есть вопрос о достоверности законов природы, возникает из явного противоречия между принципом эмпиризма (утверждающим, что только «опыт» позволяет судить об истинности или ложности фактуального высказывания) и осознанием того обстоятельства, что индуктивные (или обобщающие) рассуждения недостоверны.

Под влиянием Витгенштейна Шлик высказал мнение о том, что данное противоречие можно устранить, приняв допущение, что законы природы представляют собой «не подлинные высказывания», а «правила преобразования высказываний», то есть разновидность псевдовысказываний».

Эту попытку решить проблему индукции (решение Шлика представляется мне чисто словесным) объединяет со всеми более ранними аналогичными попытками, а именно априоризмом, конвенционализмом и т. п., одно необоснованное допущение о том, что все подлинные высказывания в принципе должны быть полностью разрешимы, то есть верифицируемы или фальсифицируемы. Эту мысль можно выразить более точно: для всякого подлинного высказывания должна существовать логическая возможность как его (окончательной) эмпирической верификации, так и его (окончательной) эмпирической фальсификации.

Если отказаться от этого допущения, то становится возможным простое разрешение того противоречия, которое образует проблему индукции. Мы можем вполне последовательно интерпретировать законы природы и теории как подлинные высказывания, которые частично разрешимы, то есть они по логическим основаниям не верифицируемы, но асимметричным образом только фальсифицируемы: это высказывания, проверяемые путем систематических попыток их фальсификации.

Предлагаемое решение имеет то преимущество, что оно открывает путь также для решения второй, еще более фундаментальной проблемы теории познания (или теории эмпирического метода). Я имею в виду следующее.

(2) Главная проблема. Это — проблема демаркации (кантовская проблема границ научного познания), которую можно определить как проблему нахождения критерия, который позволил бы нам провести различие между утверждениями (высказываниями, системами высказываний), принадлежащими к эмпирической науке, и утверждениями, которые можно назвать «метафизическими».

Согласно решению этой проблемы, предложенному Витгенштейном, такое разделение достигается с помощью использования

понятий «значение» или «смысл»: каждое осмысленное, или имеющее значение, предложение должно быть функцией истинности «атомарных» предложений, то есть должно быть полностью логически сводимо к сингулярным высказываниям наблюдения или выводимо из них. Если некоторое утверждение, претендующее на роль научного высказывания, не поддается такому сведению, то оно «не имеет значения», «бессмысленно», является «метафизическим» или просто «псевдопредложением». В итоге метафизика оказывается бессмысленной чепухой.

Может показаться, что, проведя такую линию демаркации, позитивисты достигли более полного успеха в уничтожении метафизики, чем все предшествующие антиметафизики. Однако этот метод приводит к уничтожению не только метафизики, но также и самого естествознания, ибо законы природы столь же несводимы к высказываниям наблюдения, как и рассуждения метафизиков. (Вспомним проблему индукции!) Если последовательно применять критерий значения Витгенштейна, то законы природы окажутся «бессмысленными псевдопредложениями», следовательно, «метафизическими» высказываниями. Поэтому данная попытка провести линию демаркации терпит крах.

Догму значения или смысла и порождаемые ею псевдопроблемы можно устранить, если в качестве критерия демаркации принять критерий фальсифицируемости, то есть, по крайней мере, асимметричной или односторонней разрешимости. Согласно этому критерию, высказывания или системы высказываний содержат информацию об эмпирическом мире только в том случае, если они обладают способностью прийти в столкновение с опытом, или — более точно — если их можно систематически проверять, то есть подвергнуть (в соответствии с некоторым «методологическим решением») проверкам, результатом которых может быть их опровержение.

Таким образом, признание односторонне разрешимых высказываний позволяет нам решить не только проблему индукции (заметим, что существует лишь один тип умозаключения, осуществляемого в индуктивном направлении, а именно — дедуктивный *modus tollens*), но также более фундаментальную проблему демаркации — ту проблему, которая породила почти все другие проблемы эпистемологии. Наш критерий фальсифицируемости с достаточной точностью отличает теоретические системы эмпирических наук от систем метафизики (а также от конвенционалистских и тавтологических систем), не утверждая при этом бессмысленности метафизики (в которой с исторической точки зрения можно усмотреть источник, породивший теории эмпирических наук).

Поэтому, перефразировав и обобщив хорошо известное замечание Эйнштейна, эмпирическую науку можно охарактеризовать

следующим образом: в той степени, в которой научное высказывание говорит о реальности, оно должно быть фальсифицируемо, а в той степени, в которой оно не фальсифицируемо, оно не говорит о реальности.

Логический анализ может показать, что роль (односторонней) фальсифицируемости как критерия эмпирической науки с формальной точки зрения аналогична той роли, которую для науки в целом играет непротиворечивость. Противоречивая система не выделяет никакого собственного подмножества из множества всех возможных высказываний. Аналогичным образом нефальсифицируемая система не в состоянии выделить никакого собственного подмножества из множества всех возможных «эмпирических» высказываний (всех сингулярных синтетических высказываний).

Поппер К. Логика и рост научного знания. — М., 1983. — С. 226—231, 236—239.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

О НАУКЕ

Книга I

УЧЕНый И НАУКА

Глава I. ВЫБОР ФАКТОВ

Граф Толстой где-то объясняет, почему «наука для науки» в его глазах представляется идеей, лишенной смысла. Мы не можем знать *всех* фактов, ибо число их в действительности безгранично. Необходимо, следовательно, делать между ними выбор. Можем ли мы руководствоваться при производстве этого выбора исключительно капризами нашего любопытства? Не лучше ли руководствоваться полезностью, нашими нуждами, практическими и в особенности моральными? Разве нет у нас лучшего дела, чем считать божьих коровок, живущих на нашей планете?

Ясно, что для него слово «польза» не имеет того значения, какое ему обычно приписывают деловые люди, а за ними и большая часть наших современников. Он мало озабочен применением науки к промышленности, чудесами электричества или автомобильного спорта, на которые он смотрит скорее как на препятствие к моральному прогрессу; полезным является исключительно то, что делает человека лучшим.

Что касается меня, то нужно ли мне говорить, что я не мог бы удовлетвориться ни тем, ни другим идеалом? Я не желал бы ни этой плутократии, жадной и ограниченной, ни этой демократии, добродетельной и посредственной, всегда готовой подставить левую щеку, демократии, среди которой жили бы мудрецы, лишенные любознательности, люди, которые, избегая всякого излишества, не умирали бы от болезни, но наверняка погибли бы от скуки. Впрочем, все это дело вкуса, и не об этом, собственно, я хотел говорить.

Вопрос, поставленный выше, тем не менее остается в силе, и на нем мы и должны сосредоточить все внимание. Если наш выбор может определяться только капризом или непосредственной пользой, то не может существовать наука для науки и не может, вследствие этого, существовать и наука вообще. Так ли это? Что выбор сделать необходимо, этого нельзя оспаривать; какова бы ни была наша деятельность, факты идут быстрее нас, и мы не

можем за ними угнаться. В то время как ученый открывает один факт, в каждом кубическом миллиметре его тела их происходит миллиарды миллиардов. Желать, чтобы наука охватывала природу, значило бы заставить целое войти в состав своей части.

Но ученые все-таки полагают, что есть известная иерархия фактов и что между ними может быть сделан разумный выбор; и они правы, ибо иначе не было бы науки, а наука все-таки существует. Достаточно только открыть глаза, чтобы убедиться, что завоевания промышленности, обогатившие стольких практических людей, никогда не увидели бы света, если бы существовали только люди практики, если бы последних не опережали безумные бессребреники, умирающие нищими, никогда не думающие о своей пользе и руководимые все же не своим капризом, а чем-то другим.

Эти именно безумцы, как выразился Мах, сэкономили своим последователям труд мысли. Те, которые работали бы исключительно в целях непосредственного приложения, не оставили бы ничего за собой. Стоя перед новой нуждой, нужно было бы заново все начинать сначала. Но большая часть людей не любит думать, и, может быть, это к лучшему, ибо ими руководит инстинкт, и руководит он ими обыкновенно лучше, чем интеллектуальные соображения, по крайней мере во всех тех случаях, когда люди имеют в виду одну и ту же непосредственную цель. Но инстинкт — это рутина, и если бы его не оплодотворяла мысль, то он и в человеке не прогрессировал бы больше, чем в пчеле или в муравье. Необходимо, следовательно, чтобы кто-нибудь думал за тех, кто не любит думать, а так как последних чрезвычайно много, то необходимо, чтобы каждая из наших мыслей приносила пользу столь часто, сколь это возможно, и именно поэтому всякий закон будет тем более ценным, чем более он будет общим.

Это нам показывает, как мы должны производить выбор. Наиболее интересными являются те факты, которые могут служить свою службу многократно, которые могут повторяться. Мы имели счастье родиться в таком мире, где такие факты существуют. Представьте себе, что существовало бы не 60 химических элементов, а 60 миллиардов и что между ними не было бы обыкновенных и редких, а что все были бы распространены равномерно. В таком случае всякий раз, как нам случилось бы подобрать на земле булыжник, была бы большая вероятность, что он состоит из новых, нам неизвестных, элементов. Все то, что мы знали бы о других камнях, могло бы быть совершенно неприменимо к нему. Перед каждым новым предметом мы стояли бы, как новорожденный младенец; как и последний, мы могли бы подчиняться только нашим капризам и нашим нуждам. В таком мире не было бы науки; быть может, мысль и сама жизнь в нем были бы невозможны, ибо эволюция не могла бы развивать инстинктов сохранения

рода. Слава богу, дело обстоит не так! Как всякое счастье, к которому мы приспособились, мы не оцениваем и этого во всем его значении. Биолог был бы совершенно подавлен, если бы существовали только индивидуумы и не было бы видов, если бы наследственность не воспроизводила детей, похожих на их отцов.

Каковы же те факты, которые имеют шансы на возобновление? Таковыми являются, прежде всего, факты простые. Совершенно ясно, что в сложном факте тысячи обстоятельств соединены случаем, и лишь случай, еще гораздо менее вероятный, мог бы их объединить снова в той же комбинации. Но существуют ли простые факты? А если таковые существуют, то как их распознать? Кто удостоверит нам, что факт, который мы считаем простым, не окажется ужасно сложным? На это мы можем только ответить, что мы должны предпочитать те факты, которые нам *представляются* простыми, всем тем, в которых наш грубый глаз различает несходные составные части; и тогда одно из двух: либо это простота действительная, либо же элементы так тесно между собой соединены, что мы не в состоянии их отличать один от другого. В первом случае мы имеем шансы встретить снова тот же самый простой факт либо непосредственно во всей его чистоте, либо как составную часть некоторого сложного комплекса. Во втором случае эта однородная смесь имеет больше шансов на новое воспроизведение, чем совершенно разнородный агрегат. Случай может образовать смесь, но он не может ее разделить, и чтобы из разнообразных элементов соорудить упорядоченное сооружение, в котором можно было бы нечто различать, нужно его строить сознательно. Поэтому есть очень мало шансов, чтобы агрегат, в котором мы нечто различаем, когда-либо повторился. Напротив, есть много шансов, чтобы смесь, представляющаяся на первый взгляд однородной, возобновлялась многократно. Факты, которые представляются простыми, даже в том случае, когда они не являются таковыми в действительности, все же легче возобновляются случаем.

Вот что оправдывает метод, инстинктивно усвоенный ученым, и, быть может, еще больше его оправдывает то обстоятельство, что факты, которые мы чаще всего встречаем, представляются нам простыми именно потому, что мы к ним привыкли.

Но где же они — эти простые факты? Ученые искали их в двух крайних областях: в области бесконечно большого и в области бесконечно малого. Их нашел астроном, ибо расстояния между светилами громадны, настолько громадны, что каждое из светил представляется только точкой; настолько громадны, что качественные различия сглаживаются, ибо точка проще, чем тело, которое имеет форму и качество. Напротив, физик искал элементарное явление, мысленно разделяя тело на бесконечно малые кубики, ибо условия задачи, которые испытывают медленные непрерыв-

ные изменения, когда мы переходим от одной точки тела к другой, могут рассматриваться как постоянные в пределах каждого из этих кубиков. Точно так же и биолог инстинктивно пришел к тому, что он смотрит на клетку как на нечто более интересное, чем целое животное, и этот взгляд в дальнейшем действительно подтвердился, ибо клетки, принадлежащие к самым различным организмам, оказываются гораздо более схожими для того, кто умеет это сходство усматривать, чем самые эти организмы. Социолог находится в более затруднительном положении: люди, которые для него служат элементами, слишком различны между собой, слишком изменчивы, слишком капризны, словом, слишком сложны; и история не повторяется. Как же здесь выбрать интересный факт, т.е. тот, который возобновляется? Метод — это, собственно, и есть выбор фактов; и прежде всего, следовательно, нужно озаботиться изобретением метода; и этих методов придумали много, ибо ни один из них не напрашивается сам собой. Каждая диссертация в социологии предлагает новый метод, который, впрочем, каждый новый доктор опасается применять, так что социология есть наука, наиболее богатая методами и наиболее бедная результатами.

Итак, начинать нужно с фактов, систематически повторяющихся; но коль скоро правило установлено и установлено настолько прочно, что никакого сомнения не вызывает, то те факты, которые вполне с ним согласуются, не представляют уже для нас никакого интереса, так как они уже не учат ничему новому. Таким образом, интерес представляет лишь исключение. Мы вынуждены прекратить изучение сходства, чтобы сосредоточить свое внимание прежде всего на возможных здесь различиях, а из числа последних нужно выбрать прежде всего наиболее резкие, и притом не только потому, что они более всего бросаются в глаза, но и потому, что они более поучительны. Простой пример лучше пояснит мою мысль. Положим, что мы желаем определить кривую по нескольким наблюдаемым ее точкам. Практик, который был бы заинтересован только непосредственными приложениями, наблюдал бы исключительно такие точки, которые были бы ему нужны для той или иной специальной цели; но такого рода точки были бы плохо распределены на кривой; они были бы скоплены в одних областях, были бы разрежены в других, так что соединить их непрерывной линией было бы невозможно, нельзя было бы воспользоваться ими для каких-либо иных приложений. Совершенно иначе поступил бы ученый. Так как он желает изучить кривую саму по себе, то он правильно распределит точки, подлежащие наблюдению, и, как только он их будет знать, он соединит их непрерывной линией и тогда будет иметь в своем распоряжении кривую целиком. Но что же он для этого сделает? Если он первоначально определил крайнюю точку кривой, то он не будет оста-

ваться все время вблизи этой точки, а, напротив, перейдет прежде всего к другой крайней точке. После двух конечных точек наиболее интересной будет середина между ними и т.д.

Итак, если установлено какое-нибудь правило, то прежде всего мы должны исследовать те случаи, в которых это правило имеет больше всего шансов оказаться неверным. Этим, между прочим, объясняется интерес, который вызывают факты астрономические, а также факты, которые относятся к прошлому геологических эпох. Уходя далеко в пространстве и во времени, мы можем ожидать, что наши обычные правила там совершенно рушатся. И именно это великое разрушение часто может помочь нам лучше усмотреть и лучше понять те небольшие изменения, которые могут происходить вблизи нас, в том небольшом уголке Вселенной, в котором мы призваны жить и действовать. Мы познаем лучше этот уголок, если побываем в отдаленных странах, в которых нам, собственно, нечего делать.

Однако мы должны сосредоточить свое внимание главным образом не столько на сходствах и различиях, сколько на тех аналогиях, которые часто скрываются в кажущихся различиях. Отдельные правила кажутся вначале совершенно расходящимися, но, присматриваясь к ним поближе, мы обыкновенно убеждаемся, что они имеют сходство. Различные по материалу, они имеют сходство в форме и в порядке частей. Таким образом, когда мы взглянем на них как бы со стороны, мы увидим, как они разрастаются на наших глазах, стремясь охватить все. Это именно и составляет ценность многих фактов, которые, заполняя собой одни комплексы, оказываются в то же время верными изображениями других известных нам комплексов.

Я не могу останавливаться на этом более, но, я полагаю, из сказанного достаточно ясно, что ученый не случайно выбирает факты, которые он должен наблюдать. Он не считает божьих коровок, как говорил граф Толстой, ибо число этих насекомых, как бы они ни были интересны, подвержено чрезвычайно капризным колебаниям. Он старается сконцентрировать много опытов, много мыслей в небольшом объеме, поэтому-то небольшая книга по физике содержит так много опытов, уже произведенных, и в тысячу раз больше других возможных опытов, результаты которых мы знаем наперед.

Но мы рассмотрели пока только одну сторону дела. Ученый изучает природу не потому, что это полезно; он исследует ее потому, что это доставляет ему наслаждение, а это дает ему наслаждение потому, что природа прекрасна. Если бы природа не была прекрасной, она не стоила бы того, чтобы быть познанной; жизнь не стоила бы того, чтобы быть прожитой. Я здесь говорю, конечно, не о той красоте, которая бросается в глаза, не о красоте качества и видимых свойств; и притом не потому, что я такой

красоты не признаю, отнюдь нет, а потому, что она не имеет ничего общего с наукой. Я имею в виду ту более глубокую красоту, которая кроется в гармонии частей и которая постигается только чистым разумом. Это она создает почву, создает, так сказать, остов для игры видимых красот, ласкающих наши чувства, и без этой поддержки красота мимолетных впечатлений была бы весьма несовершенной, как все неотчетливое и преходящее. Напротив, красота интеллектуальная дает удовлетворение сама по себе, и, быть может, больше ради нее, чем ради будущего блага рода человеческого, ученый обрекает себя на долгие и тяжкие труды.

Так вот именно эта особая красота, чувство гармонии мира, руководит нами в выборе тех фактов, которые наиболее способны усиливать эту гармонию подобно тому, как артист разыскивает в чертах своего героя наиболее важные, которые сообщают ему о его характере и жизни; и нечего опасаться, что это бессознательное, инстинктивно предвзятое отношение отвлечет ученого от поисков истины. Можно мечтать о мире, полном гармонии, но как далеко его все же оставит за собой действительный мир! Наиболее великие художники, которые когда-либо существовали, — греки — создавали свое небо, но как оно убого по сравнению с нашим действительным небом.

И это потому, что прекрасна простота, прекрасна грандиозность; потому, что мы предпочтительнее ищем простые и грандиозные факты, потому, что нам доставляет наслаждение то уноситься в гигантскую область движения светил, то проникать при помощи микроскопов в таинственную область неизмеримо малого, которое все же представляет собой нечто величественное, то углубляться в геологические эпохи, изыскивая следы прошлого, которое именно потому нас и привлекает, что оно очень отдалено.

Мы видим, таким образом, что поиски прекрасного приводят нас к тому же выбору, что и поиски полезного; и совершенно таким же образом экономия мысли и экономия труда, к которым, по мнению Маха, сводятся все стремления науки, являются источниками как красоты, так и практической пользы. Мы больше всего удивляемся тем зданиям, в которых архитектор сумел соразмерить средства с целью, в которых колонны как бы без усилия свободно несут возложенную на них тяжесть, как грандиозные кариатиды Эрехтейона¹.

В чем же заключается причина этого совпадения? Обусловливается ли это просто тем, что именно те вещи, которые кажутся нам прекрасными, наиболее соответствуют нашему разуму и потому являются в то же самое время орудием, которым разум луч-

¹ Эрехтейон — древнегреческий храм в Афинах, архитектура которого отличается изяществом и тонкой красотой.

ше всего владеет? Или, может быть, это игра эволюции или естественного отбора? Разве народы, идеалы которых наиболее соответствовали их правильно понятым интересам, вытеснили другие народы и заняли их место? Как одни, так и другие преследовали свои идеалы, не отдавая себе отчета о последствиях; но в то время как эти поиски приводили одних к гибели, они давали другим владычество. Можно думать и так: если греки восторжествовали над варварами и если Европа, наследница греческой мысли, властвует над миром, то это потому, что дикие любили яркие цвета и шумные звуки барабана, которые занимали только их чувства, между тем как греки любили красоту интеллектуальную, которая скрывается за красотой чувственной, которая именно и делает разум уверенным и твердым.

Несомненно, такого рода триумф вызвал бы ужас у Толстого, который ни за что не признал бы, что он может быть действительно полезным. Но это бескорыстное искание истины ради ее собственной красоты несет в себе здоровое семя и может сделать человека лучше. Я знаю, что здесь есть исключения, что мыслитель не всегда почерпнет в этих поисках чистоту души, которую он должен был бы найти, что есть ученые, имеющие весьма дурной характер.

Но следует ли из этого, что нужно отказаться от науки и изучать только мораль? И разве моралисты, когда они сходят со своей кафедры, остаются на недостижимой высоте?

Пуанкаре А. О науке. — М., 1983. — С. 288—294.

ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИКИ: РАЗВИТИЕ ИДЕЙ ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ ДО ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И КВАНТОВ

ВРЕМЯ, ПРОСТРАНСТВО, ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

Наши новые положения суть:

1. *Скорость света в вакууме одинакова во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.*

2. *Законы природы одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.*

Теория относительности начинается с этих двух положений. С этого времени мы не будем применять классического преобразования, так как знаем, что оно противоречит исходным положениям.

В данном случае, как и всегда в науке, важно отказаться от глубоко укоренившихся, часто некритически повторяемых предрассудков. Так как мы видели, что изменения обоих положений приводят к противоречию с экспериментом, то мы должны иметь смелость твердо установить их справедливость и напасть на один возможно слабый пункт, а именно на способ, которым координаты и скорости преобразуются от одной системы координат к другой. Мы хотим сделать выводы из этих двух положений, посмотреть, где и как эти положения противоречат классическому преобразованию, и найти физический смысл полученных результатов.

Можно еще раз использовать пример с движущейся комнатой и наблюдателями внутри и вне ее. Пусть световой сигнал опять излучается из центра комнаты, и вновь мы спрашиваем обоих людей, что они обнаружат, допустив только два вышеуказанных принципа и забыв то, что было предварительно сказано о среде, сквозь которую проходит свет. Приведем их ответ.

Внутренний наблюдатель. Световой сигнал, идущий от центра комнаты, достигнет стен *одновременно*, так как все стены одинаково отстоят от источника света, а скорость света одинакова во всех направлениях.

Внешний наблюдатель. В моей системе координат скорость света совершенного такая же, как и в системе наблюдателя, движущейся

гося вместе с комнатой. Мне нет дела до того, движется ли источник света в моей системе или нет, так как его движение не влияет на скорость света. То, что я вижу, это — световой сигнал, идущий с постоянной скоростью, одинаковой во всех направлениях. Одна из стен стремится убежать от светового сигнала, а другая — приблизиться к нему. Поэтому убегающая стена будет достигнута световым сигналом немного позднее, чем приближающаяся. Хотя эта разность времен прибытия светового сигнала будет очень незначительной, если скорость комнаты мала сравнительно со скоростью света, тем не менее световой сигнал не достигнет обеих противоположных стен, расположенных перпендикулярно к направлению движения, совершенно одновременно.

Сравнивая предсказания обоих наблюдателей, мы обнаруживаем крайне изумительный результат, который явно противоречит несомненно хорошо обоснованным понятиям классической физики. Оба события — достижение стен двумя световыми лучами — одновременны для наблюдателя внутри и неодновременны для наблюдателя вне комнаты. В классической физике у нас были одни часы, одно течение времени для всех наблюдателей во всех системах. Время, а стало быть, и такие слова, как «одновременно», «ранее», «позднее», имели абсолютное значение, независимое от какой-либо системы. Два события, происходящие в одно и то же время в одной системе координат, необходимо происходили одновременно во всех системах координат.

Положения, указанные выше, т.е. теория относительности, вынуждают нас отказаться от этого взгляда. Мы описали два события, которые происходят одновременно в одной системе координат, но в разное время в другой системе. Наша задача — понять это следствие, понять смысл предложения: «Два события, одновременные в одной системе координат, не могут быть одновременны в другой системе».

Что мы обозначаем словами: «два одновременных события в одной системе координат»? Интуитивно каждый человек считает, что он понимает смысл этого предложения. Но будем осторожными и постараемся дать строгие определения, так как мы знаем, как опасно переоценивать интуицию. Ответим сначала на простой вопрос.

Что такое часы?

Примитивное субъективное чувство течения времени позволяет нам упорядочить наши впечатления, судить о том, что одно событие происходит раньше, другое позднее. Но чтобы показать, что промежуток времени между двумя событиями равен десяти секундам, нужны часы. Благодаря применению часов понятие времени становится объективным. В качестве часов может быть использовано любое физическое явление, если только оно может быть повторено столько раз, сколько необходимо. Если мы возьмем

интервал между началом и концом такого события за единицу времени, то любые интервалы времени мы можем измерить повторением этого физического процесса. Все часы, от простых песочных до наиболее совершенных, основаны на этой идее. При пользовании песочными часами единицей времени будет являться интервал, в течение которого песок высыпается из верхнего стаканчика в нижний. Тот же физический процесс может быть повторен перевертыванием стакана.

Пусть в двух отдаленных друг от друга точках пространства находится двое идеально идущих часов, точно показывающих одинаковое время. Это положение будет справедливым, несмотря на ту осторожность, с которой мы его проверяем. Но что это в действительности означает? Как можем мы удостовериться, что отдаленные друг от друга часы всегда показывают одинаковое время? Можно использовать один из возможных методов — телевидение. Легко понять, что телевидение берется как пример, само по себе оно не существенно для наших доводов. Я мог бы стоять около одних часов и смотреть на изображение других часов на экране телевизора. Тогда я мог бы судить, показывают ли часы одновременно одинаковое время или нет. Но это не было бы хорошим доказательством. Изображение в телевизоре передается электромагнитными волнами, следовательно, распространяется со скоростью света. На экране телевизора я вижу изображение, посланное некоторое очень короткое время тому назад, в то время как на часах, стоящих возле меня, я вижу то, что имеет место в настоящий момент. Эту трудность можно легко преодолеть. Для этого нужно рассмотреть изображения обоих часов в точке, одинаково отстоящей от каждого из них, т. е. рассмотреть их в точке, лежащей на середине расстояния между часами. Тогда, если сигналы посланы одновременно, они достигнут меня в один и тот же момент. Если двое хороших часов, наблюдаемых в точке, находящейся посредине между нами, показывают одинаковое время, то они вполне подходят для указания времени событий в двух отдаленных точках.

В механике мы употребляли только одни часы. Но это было не очень удобно, потому что мы должны были производить все измерения вблизи этих часов. Смотря на удаленные от нас часы, например, с помощью телевизора, мы всегда должны помнить следующее: то, что мы видим теперь, в действительности произошло раньше, подобно тому, как, рассматривая заход Солнца, мы отмечаем это событие спустя восемь минут после того, как оно имело место. Во все показания часов мы должны вносить поправки, соответствующие нашему расстоянию от часов.

Поэтому неудобно иметь только одни часы. Однако теперь, поскольку мы знаем, как проверить, показывают ли двое или вообще несколько часов одновременно одно и то же время, и идя тем

же самым путем, мы легко можем вообразить себе в данной системе координат столько часов, сколько нам хочется.

Каждые из них помогут нам определить время событий, происходящих в непосредственном соседстве с ними. Все часы находятся в покое относительно системы координат. Они являются «хорошими» часами; они синхронизированы, что означает, что часы одновременно показывают одинаковое время.

В нашей расстановке часов нет ничего удивительного или странного. Вместо одних-единственных часов мы применяем теперь много синхронизированных часов и поэтому можем легко проверить, одновременны ли два отдаленных события в данной системе координат или нет. Они одновременны, если синхронизированные часы вблизи них показывают одинаковое время в момент, когда происходят события. Теперь утверждение, что одно отдаленное событие происходит раньше другого, имеет определенный смысл. Его можно проверить с помощью синхронизированных часов, покоящихся в нашей системе координат.

Все это находится в согласии с классической физикой и не вызывает еще противоречий с классическим преобразованием.

Для определения одновременности событий часы синхронизируются с помощью сигналов. В наших рассуждениях существенно то, что сигналы передаются со скоростью света, со скоростью, которая играет такую фундаментальную роль в теории относительности.

Так как мы хотим заняться важной проблемой о двух системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга, то мы должны рассмотреть два стержня, снабженных часами. В каждой из обеих систем, движущихся друг относительно друга, наблюдатель имеет теперь свой собственный масштаб со своим собственным набором часов, жестко связанным с масштабом.

При измерениях в классической механике мы употребляли одни часы во всех системах координат. Теперь мы имеем много часов в каждой системе координат. Это различие несущественно. Одни часы были достаточны, но никто не может возражать против употребления многих часов, пока они ведут себя как хорошо синхронизированные часы.

Теперь мы приближаемся к существенному пункту, показывающему, где классическое преобразование противоречит теории относительности. Что происходит, когда двое часов движутся прямолинейно и равномерно друг относительно друга? Физик, держащийся классических взглядов, ответил бы: ничего; их ритм остается одинаковым, и мы можем употреблять для показания времени движущиеся часы так же, как и покоящиеся. Таким образом, согласно классической физике два события, одновременные в одной системе координат, будут одновременными в любой другой системе.

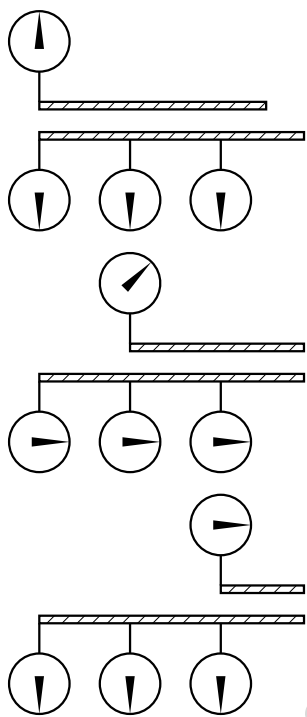


Рис. 56

вышли из общего ритма. Их ритм изменился, и время отличается вследствие того, что часы движутся относительно нижней системы. На третьем рисунке мы видим, что различие в положении стрелок со временем увеличилось. Наблюдатель, покоящийся в нижней системе координат, нашел бы, что движущиеся часы изменили свой ритм. Конечно, тот же результат получился бы, если бы часы двигались по отношению к наблюдателю, покоящемуся в верхней системе координат; в этом случае в верхней системе должно было бы быть много часов, а в нижней только одни. Закон природы должен быть одинаков в обеих системах, движущихся друг относительно друга.

В классической механике молчаливо предполагалось, что движущиеся часы не изменяют своего ритма. Это казалось столь очевидным, что едва ли было достойно упоминания. Но ничто не должно считаться слишком очевидным; если мы действительно желаем быть осторожными, мы должны подвергать анализу все положения, принимаемые в физике.

Но это не единственный возможный ответ. Мы можем столь же легко представить себе движущиеся часы, имеющие ритм, отличный от ритма покоящихся часов. Обсудим теперь эту возможность, не решая пока вопроса о том, изменяют ли на самом деле часы свой ритм при движении или нет. Что означает утверждение, что движущиеся часы изменяют свой ритм? Предположим ради простоты, что в верхней системе координат у нас только одни часы, а в нижней — много. У всех часов одинаковый механизм и нижние часы синхронизированы, т. е. они показывают одновременно одинаковое время. Мы показали (рис. 56)¹ три последовательных положения обеих систем, движущихся друг относительно друга. На первом рисунке положения стрелок верхних и нижних часов ради удобства взяты одинаковыми; так мы их поставили сами. Все часы показывают одинаковое время. На втором рисунке мы видим относительные положения обеих систем спустя некоторое время. Все часы в нижней системе показывают одинаковое время, но часы в верхней системе

¹ Нумерация рисунков та же, что и в оригинале. — Прим. ред.

Нельзя считать какое-либо положение бессмысленным только потому, что оно отличается от положения классической физики. Мы можем легко представить себе, что движущиеся часы изменяют свой ритм, если закон этого изменения одинаков для всех инерциальных систем.

Еще один пример. Возьмем метровый стержень; это значит, что длина стержня — один метр, пока он находится в покоящейся системе координат. Пусть он движется прямолинейно и равномерно, скользя вдоль масштаба, представляющего систему координат. Будет ли его длина и в этом случае равна одному метру? Мы должны знать заранее, как определять его длину. Пока стержень был в покое, его концы совпадали с нанесенными на масштабе отметками, расстояние между которыми равнялось одному метру. Из этого мы заключили: длина покоящегося стержня равна одному метру. Как мы измеряем длину этого стержня во время движения? Это можно было бы сделать следующим образом. В данный момент два наблюдателя делают одновременно моментальные фотоснимки начала движущегося стержня и его конца. Поскольку снимки берутся одновременные, мы можем сравнить, с какими отметками масштаба совпадают начало и конец движущегося стержня. Таким путем мы определим его длину. Нужно, чтобы два наблюдателя отметили одновременные события, происходящие в различных частях данной системы. Нет никаких оснований считать, что результат таких измерений будет таким же, как и в случае, когда отрезок покоится. Поскольку фотографии должны быть сделаны одновременно, а одновременность, как мы знаем, является относительным понятием, зависящим от системы координат, то кажется вполне возможным, что результаты этих измерений будут различными в различных системах, движущихся друг относительно друга.

Мы легко можем представить себе, что не только движущиеся часы изменяют свой ритм, но и движущийся стержень тоже изменяет свою длину, если законы изменений одинаковы для всех инерциальных систем координат.

Мы лишь обсуждали некоторые новые возможности, не приводя каких-либо оправданий в пользу их принятия.

Мы помним: скорость света одинакова во всех инерциальных системах координат. Этот факт несовместим с классическим преобразованием. Круг должен быть где-то разорван. Нельзя ли это сделать как раз здесь? Не можем ли мы предположить, что имеют место такие изменения в ритме движущихся часов и в длине движущегося стержня, что постоянство скорости света будет следовать непосредственно из этих предположений? В самом деле, можем! Здесь впервые теория относительности и классическая физика радикально расходятся. Наш довод может быть сформулирован иначе: если скорость света одинакова во всех системах, то

движущиеся стрелки должны изменять свою длину, движущиеся часы должны изменять свой ритм, а законы, управляющие этими изменениями, являются строго определенными.

Во всем этом нет ничего таинственного или неразумного. В классической физике всегда предполагалось, что часы и в движении, и в покое имеют одинаковый ритм, что масштабы и в движении, и в покое имеют одинаковую длину. Если скорость света одинакова во всех системах координат, если теория относительности справедлива, то мы должны пожертвовать этим положением. Трудно отделаться от глубоко укоренившихся предрассудков, но другого пути нет. С точки зрения теории относительности старые понятия кажутся произвольными. Почему надо верить, как это мы делали раньше, в абсолютное время, текущее одинаково для всех наблюдателей во всех системах? Почему надо верить в неизменяемое расстояние? Время определяется часами, пространственные координаты — масштабами, и результат этих определений может зависеть от поведения этих часов и масштабов, когда они находятся в движении. Нет оснований считать, что они будут вести себя так, как нам этого хотелось бы. Косвенное наблюдение, а именно наблюдение явлений электромагнитного поля, показывает, что движущиеся часы изменяют свой ритм, а масштаб — длину, в то время как, основываясь на механических явлениях, мы не думали, чтобы это имело место. Мы должны принять понятие относительного времени в каждой системе координат, ибо это наилучший выход из трудностей. Дальнейший научный успех, достигнутый теорией относительности, показывает, что новый взгляд не должен рассматриваться как печальная необходимость, ибо успехи теории относительности оказались весьма значительными.

До сих пор мы старались показать, что привело к основным положениям теории относительности и как теория относительности вынуждала нас пересматривать и изменять классическое преобразование, по-новому трактуя понятия времени и пространства. Наша цель — указать идеи, образующие основу новых физических и философских взглядов. Эти идеи просты; но в той форме, в которой они здесь сформулированы, они недостаточны для того, чтобы получить выводы не только качественные, но и количественные. Мы опять должны применить наш старый метод объяснения только принципиальных идей и формулировки некоторых выводов без доказательства.

Чтобы сделать ясным различие между взглядом старого физика (назовем его *С*), верящего в классическое преобразование, и взглядом нового физика (назовем его *Н*), признающего теорию относительности, вообразим между ними следующий диалог.

С. Я верю в принцип относительности Галилея в механике, ибо я знаю, что законы механики одинаковы в двух системах, движу-

щихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, или, другими словами, что эти законы инвариантны относительно классического преобразования.

Н. Но принцип относительности следует применять ко всем событиям внешнего мира. Не только законы механики, но и все законы природы должны быть одинаковы в системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.

С. Но как все законы природы могут оказаться одинаковыми в системах, движущихся друг относительно друга? Ведь уравнения поля, т.е. уравнения Максвелла, неинвариантны относительно классического преобразования. Это ясно обнаруживается на примере скорости света. Согласно классическому преобразованию эта скорость не была бы одинаковой в двух системах, движущихся друг относительно друга.

Н. Это только показывает, что классическое преобразование нельзя применять, что связь между двумя системами координат должна быть иной, и что мы не можем связывать координаты и скорости в разных системах координат так, как это сделано в этих законах преобразования. Мы должны заменить их новыми законами, выведя последние из основных положений теории относительности. Не будем заботиться о математическом выражении этих новых законов преобразования и удовлетворимся тем, что они отличны от классического. Мы назовем их кратко преобразованиями Лоренца. Можно показать, что уравнения Максвелла, т.е. законы поля, инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца, подобно тому, как законы механики инвариантны по отношению к классическим преобразованиям. Вспомним, как обстояло дело в классической физике. Мы имели законы преобразования для координат, законы преобразования для скоростей, но законы механики были одинаковы для обеих систем координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга. У нас были законы преобразования для пространства, но не для времени, потому что время было одинаково во всех системах координат. Однако здесь, в теории относительности, оно различно. Здесь мы имеем законы преобразования пространства, времени и скоростей, отличающиеся от классических законов. Но законы природы опять должны быть одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Законы природы должны быть инвариантны, но не по отношению к классическим преобразованиям, как прежде, а по отношению к новому типу преобразований — так называемым преобразованиям Лоренца. Во всех инерциальных системах справедливы те же самые законы, а переход от одной системы к другой дается преобразованиями Лоренца.

С. Я верю вам, но мне интересно было бы знать различие между преобразованиями классическими и преобразованиями Лоренца.

Н. Ответить на ваш вопрос лучше всего следующим образом. Сошлемся на некоторые характерные черты классических преобразований, и я постараюсь объяснить, сохраняются ли они в преобразованиях Лоренца, и если нет, то как они изменяются.

С. Если что-либо происходит в какой-то точке пространства в некоторый момент времени в моей системе координат, то наблюдатель, находящийся в другой системе координат, движущейся прямолинейно и равномерно относительно моей, отмечает другое число, определяющее положение места, где происходит событие, но, конечно, то же самое время. Мы употребляем одни и те же часы во всех системах независимо от того, движутся ли они или нет. Это и с вашей точки зрения справедливо?

Н. О, нет. Каждая система координат должна быть снабжена собственными часами, покоящимися в ней, так как движение изменяет ритм часов. Два наблюдателя, находящиеся в различных системах координат, отмечают не только различные числа, определяющие положение, но и различные числа, определяющие время, в которое происходит это событие.

С. Это означает, что время не является больше инвариантом. В классических преобразованиях время всегда одно и то же во всех системах. В преобразованиях Лоренца оно изменяется и ведет себя аналогично координате в старых преобразованиях. Интересно знать, как обстоит дело с длиной. Согласно классической механике твердый стержень сохраняет свою длину как в движении, так и в покое. Верно ли это теперь?

Н. Неверно. В самом деле, из преобразований Лоренца следует, что движущийся стержень сокращается в направлении движения, и сокращение тем больше, чем больше скорость. Чем быстрее движется стержень, тем короче он оказывается. Но такое сокращение происходит только в направлении движения. На рисунке 57 вы видите стержень, который сокращается до половины своей первоначальной длины, когда он движется со скоростью, приближающейся к 0,9 скорости света. Однако в направлении, перпендикулярном к движению, сокращения нет, что я и постарался проиллюстрировать на рисунке 58.



Рис. 57

С. Это означает, что ритм движущихся часов и длина движущихся стержней зависят от скорости. Но каким образом?

Н. Изменение становится более заметным по мере возрастания скорости. Из преобразований Лоренца следует, что стержень сократится до нуля, если его скорость достигнет скорости света. Аналогично этому ритм движущихся часов замедляется сравнительно с часами, мимо которых они проходят вдоль стержня; часы совершенно остановились бы, если бы они могли двигаться со скоростью света.

С. Это кажется противоречащим всему нашему опыту. Мы знаем, что вагон не становится короче, когда он в движении, и мы знаем также, что машинист всегда может сравнить свои «хорошие» часы с часами, мимо которых он проезжает, находя, что они хорошо согласованы друг с другом, вопреки вашему утверждению.

Н. Это, конечно, верно. Но все скорости в механике очень малы сравнительно со скоростью света, поэтому нелепо применять теорию относительности к этим явлениям. Каждый машинист может спокойно применять классическую физику, даже если он увеличит свою скорость в сотни тысяч раз. Мы могли бы ожидать несогласия между экспериментом и классическими преобразованиями только в случае скоростей, приближающихся к скорости света. Справедливость преобразований Лоренца может быть проверена лишь при очень больших скоростях.

С. Но имеется и другая трудность. Согласно механике я могу вообразить тела, обладающие скоростями, даже большими, чем скорость света. Тело, движущееся со скоростью света относительно плывущего корабля, движется со скоростью, большей, чем скорость света, относительно берега. Что произойдет со стержнем, который сократился до нуля, когда его скорость сравнялась со скоростью света? Едва ли мы можем ожидать отрицательной длины, если скорость стержня больше скорости света.

Н. В действительности нет никакого основания для такой иронии! С точки зрения теории относительности материальные тела не могут иметь скорости, большей, чем скорость света. Скорость света образует верхний предел скоростей для всех материальных тел. Если скорость тела относительно корабля равна скорости света, то и относительно берега она тоже будет равна скорости света. Простой механический закон сложения и вычитания скоростей

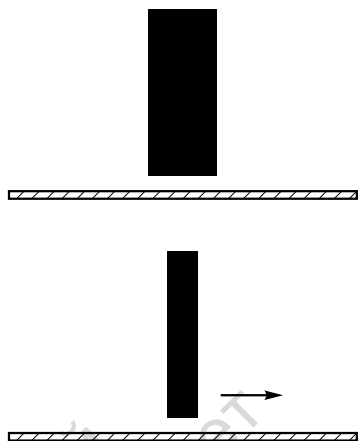


Рис. 58

больше несправедлив или, более точно, справедлив лишь приближенно для малых скоростей, но не для скоростей, близких к скорости света. Число, выражающее скорость света, явно входит в преобразования Лоренца и играет роль предельного случая, подобно бесконечной скорости в классической механике. Эта более общая теория не противоречит классическим преобразованиям и классической механике. Наоборот, к старым понятиям мы возвращаемся, как к предельному случаю, когда скорости малы. С точки зрения новой теории ясно, в каких случаях справедлива классическая физика и где лежат ее пределы. Было бы нелепо применять теорию относительности к движению автомобилей, пароходов и поездов, как нелепо употреблять счетную машину там, где вполне достаточна таблица умножения.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ И МЕХАНИКА

Теория относительности необходимо возникает из серьезных и глубоких противоречий в старой теории, из которых, казалось, не было выхода. Сила новой теории заключается в согласованности и простоте, с которой она разрешает все эти трудности, используя лишь немногие очень убедительные предположения.

Хотя теория возникла из проблемы поля, она должна охватить все физические законы. Трудность, по-видимому, появляется здесь. Законы поля, с одной стороны, и законы механики — с другой, имеют совершенно различный характер. Уравнения электромагнитного поля инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца, а уравнения механики инвариантны по отношению к классическим преобразованиям. Но теория относительности требует, чтобы все законы природы были инвариантны по отношению к лоренцовым, а не классическим преобразованиям. Последние являются лишь специальным, предельным случаем преобразований Лоренца, когда относительные скорости обеих систем координат очень малы. Если это так, то классическую механику следует изменить, чтобы согласовать ее с требованиями инвариантности по отношению к преобразованиям Лоренца. Или, другими словами, классическая механика не может быть справедливой, если скорости приближаются к скорости света. Переход от одной системы координат к другой может осуществляться только единственным путем — через преобразования Лоренца.

Классическую механику нетрудно было изменить так, чтобы она не противоречила ни теории относительности, ни изобилию материала, полученного наблюдением и объясненного классической механикой. Старая механика справедлива для малых скоростей и образует предельный случай новой механики.

Интересно рассмотреть какой-либо пример изменения в классической механике, которое вносит теория относительности. Воз-

можно, это приведет нас к некоторым выводам, которые могут быть подтверждены или опровергнуты экспериментом.

Предположим, что тело, имеющее определенную массу, движется вдоль прямой и подвергается воздействию внешней силы, действующей в направлении движения. Сила, как мы знаем, пропорциональна изменению скорости. Или, чтобы сказать яснее: не имеет значения, увеличивает ли данное тело свою скорость за одну секунду со 100 до 101 метра в секунду, или от 100 километров до 100 километров и одного метра в секунду, или от 300 000 километров до 300 000 километров и одного метра в секунду. Сила, необходимая для сообщения данному телу какого-либо определенного изменения скорости, всегда одна и та же.

Верно ли это положение с точки зрения теории относительности? Никким образом! Этот закон справедлив только для малых скоростей. Каков же, по теории относительности, закон для больших скоростей, приближающихся к скорости света? Если скорость велика, то необходима чрезвычайно большая сила, чтобы увеличить ее. Вовсе не одно и то же — увеличить ли на один метр в секунду скорость, равную примерно 100 метрам в секунду, или же скорость, приближающуюся к световой. Чем ближе скорость к скорости света, тем труднее ее увеличить. Когда скорость равна скорости света, то уже невозможно увеличить ее дальше. Таким образом, то новое, что вносит теория относительности, не является удивительным. Скорость света есть верхний предел для всех скоростей. Никакая конечная сила, как бы велика она ни была, не может вызвать увеличения скорости сверх этого предела. На место старого закона механики, связывающего силу и изменение скорости, появляется более сложный закон. С нашей новой точки зрения классическая механика проста потому, что почти во всех наблюдениях мы имеем дело со скоростями, значительно меньшими, чем скорость света.

Покоящееся тело имеет определенную массу, так называемую массу покоя. Мы знаем из механики, что всякое тело сопротивляется изменению его движения; чем больше масса, тем сильнее сопротивление, и чем меньше масса, тем слабее сопротивление. Но в теории относительности мы имеем нечто большее. Тело сопротивляется изменению сильнее не только в случае, когда больше масса покоя, но и в случае, когда его скорость больше. Тела, скорости которых приближались бы к скорости света, оказывали бы очень сильное сопротивление внешним силам. В классической механике сопротивление данного тела есть всегда нечто неизменное, характеризующее только его массой. В теории относительности оно зависит и от массы покоя, и от скорости. Сопротивление становится бесконечно большим по мере того, как скорость приближается к скорости света.

Только что указанные выводы позволяют нам подвергнуть теорию экспериментальной проверке. Оказывают ли снаряды, дви-

жущиеся со скоростями, близкими к скорости света, сопротивление действию внешней силы там, как это предсказывает теория? Так как положения теории относительности имеют в этом отношении количественный характер, то мы могли бы подтвердить или опровергнуть теорию, если бы мы обладали снарядами, движущимися со скоростями, близкими к скорости света.

На самом деле мы находим в природе снаряды, движущиеся с такими скоростями. Атомы радиоактивного вещества, например радия, действуют подобно батарее, которая стреляет снарядами, движущимися с огромными скоростями. Не входя в детали, мы можем указать только на один из самых важных взглядов современной физики и химии. Все вещество в мире построено из элементарных частиц, число разновидностей которых невелико. Подобно этому в одном городе здания различны по величине, конструкции и архитектуре, но на постройку всех их, от хижины до небоскреба, использованы кирпичи лишь очень немногих сортов, одинаковых во всех зданиях. Так, все известные химические элементы нашего материального мира — от легчайшего водорода до наиболее тяжелого урана — построены из одинакового рода кирпичей, т.е. одинакового рода элементарных частиц. Наиболее тяжелые элементы — наиболее сложные построения — неустойчивы, и они распадаются или, как мы говорим, — они радиоактивны. Некоторые кирпичи, т.е. элементарные частицы, из которых состоят радиоактивные атомы, выбрасываются иногда с очень большими скоростями, близкими к скорости света. Атом элемента, скажем, радия, согласно нашим современным взглядам, подтверждаемым многочисленными экспериментами, обладает сложной структурой, и радиоактивный распад является одним из тех явлений, в которых выявляется, что атом построен из более простых кирпичей — элементарных частиц.

С помощью очень остроумных и сложных экспериментов мы можем обнаружить, как частицы сопротивляются действию внешней силы. Эксперименты показывают, что сопротивление, оказываемое этими частицами, зависит от скорости и как раз так, как это предсказывается теорией относительности. Во многих других случаях, где можно было обнаружить зависимость сопротивления от скорости, было установлено полное согласие между теорией относительности и экспериментом. Мы еще раз видим существенные черты творческой работы в науке: предсказание определенных фактов теорией и подтверждение их экспериментом.

Этот результат приводит к дальнейшему важному обобщению. Покоящееся тело имеет массу, но не имеет кинетической энергии, т.е. энергии движения. Движущееся тело имеет и массу, и кинетическую энергию. Оно сопротивляется изменению скорости сильнее, чем покоящееся тело. Кажется, что как будто кинетическая энергия движущегося тела увеличивает его сопротивление.

Если два тела имеют одинаковую массу покоя, то тело с большей кинетической энергией сопротивляется действию внешней силы сильнее.

Представим себе ящик, наполненный шарами; пусть ящик и шары покоятся в нашей системе координат. Чтобы привести его в движение, чтобы увеличить его скорость, требуется некоторая сила. Но будет ли эта сила производить то же самое увеличение скорости за тот же промежуток времени, если шары в ящике будут быстро двигаться по всем направлениям, подобно молекулам в газе, со средними скоростями, близкими к скорости света? Теперь необходима будет большая сила, так как возросшая кинетическая энергия шаров усиливает сопротивление ящика. Энергия, во всяком случае кинетическая энергия, сопротивляется движению так же, как и весомая масса. Справедливо ли это и в отношении всех видов энергии?

Теория относительности, исходя из своих основных положений, дает ясный и убедительный ответ на этот вопрос, ответ опять-таки количественного характера: всякая энергия сопротивляется изменению движения; всякая энергия ведет себя подобно веществу; кусок железа весит больше, когда он раскален докрасна, чем когда он холоден; излучение, испускаемое Солнцем и проходящее через пространство, содержит энергию и поэтому имеет массу; Солнце и все излучающие звезды теряют массу вследствие излучения. Это заключение, совершенно общее по своему характеру, является важным достижением теории относительности и соответствует всем фактам, которые привлекались для его проверки.

Классическая физика допускала две субстанции: вещество и энергию. Первое имело вес, а вторая была невесома. В классической физике мы имели два закона сохранения: один для вещества, другой для энергии. Мы уже ставили вопрос о том, сохраняет ли еще современная физика этот взгляд на две субстанции и два закона сохранения. Ответ таков: нет. Согласно теории относительности нет существенного различия между массой и энергией. Энергия имеет массу, а масса представляет собой энергию. Вместо двух законов сохранения мы имеем только один: закон сохранения массы — энергии. Этот новый взгляд оказался очень плодотворным в дальнейшем развитии физики.

Как это случилось, что тот факт, что энергия обладает массой, а масса представляет собой энергию, столь долго оставался неизвестным? Весит ли кусок нагретого железа больше, чем кусок холодного? Теперь мы отвечаем «да», а раньше отвечали «нет». Страницы, лежащие между этими двумя ответами, разумеется, не могут скрыть этого противоречия.

Трудности, стоящие здесь перед нами, того же порядка, какие встречались нам и прежде. Изменение массы, предсказанное тео-

рией относительности, неизмеримо мало, его нельзя обнаружить прямым взвешиванием даже с помощью очень чувствительных весов. Доказательство того, что энергия не невесома, можно получить многими очень убедительными, но косвенными путями.

Причина этого недостатка непосредственной очевидности состоит в очень малой величине взаимообмена между веществом и энергией. Энергия по отношению к массе подобна обесцененной валюте, взятой по отношению к валюте высокой ценности. Один пример сделает это ясным. Количество теплоты, способное превратить тридцать тысяч тонн воды в пар, весило бы около одного грамма. Энергия столь долго считалась невесомай просто потому, что масса, которую она представляет, слишком мала.

Старая энергия — субстанция есть вторая жертва теории относительности. Первой была среда, в которой распространялись световые волны.

Влияние теории относительности выходит далеко за пределы тех проблем, из которых она возникла. Она снимает трудности и противоречия теории поля; она формулирует более общие механические законы; она заменяет два закона сохранения одним; она изменяет наше классическое понятие абсолютного времени. Ее ценность не ограничивается лишь сферой физики; она образует общий остов, охватывающий все явления природы.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ КONTИНУУМ

«Французская революция началась в Париже 14 июля 1789 года». В этом предложении установлены место и время события. Тому, кто слышит это утверждение впервые и кто не знает, что значит «Париж», можно было бы сказать: это — город на нашей земле, расположенный на 2° восточной долготы и 49° северной широты. Два числа характеризовали бы тогда место, а «14 июля 1789 года» — время, в которое произошло событие. В физике точная характеристика, когда и где произошло событие, чрезвычайно важна, гораздо важнее, чем в истории, так как эти числа образуют основу количественного описания.

Ради простоты мы рассматривали прежде только движение вдоль прямой. Нашей координатной системой был твердый стержень с

началом, но без конца. Сохраним это ограничение. Отметим на стержне различные точки; положение каждой из них может быть охарактеризовано только одним числом — координатой точки. Сказать, что координата точки равна 7,586 метра, означает, что ее расстояние от начала стержня равно 7,586 метра. Наоборот, если кто-то задает мне

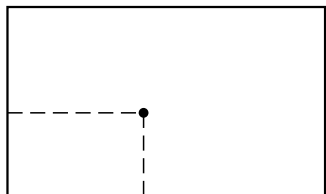


Рис. 59

любое число и единицу измерения, я всегда могу найти точку на стержне, соответствующую этому числу. Мы видим, что каждому числу соответствует определенная точка на стержне, а каждой точке соответствует определенное число. Этот факт выражается математиками в следующем предложении: *все точки стержня образуют одномерный континуум*. Тогда существует точка, сколь угодно близкая к данной точке стержня. Мы можем связать две отдаленные точки на стержне рядом отрезков, расположенных один за другим, каждый из которых сколь угодно мал. Таким образом, тот факт, что отрезки, связывающие отдаленные точки, произвольно малы, является характеристикой континуума.

Возьмем другой пример. Пусть мы имеем плоскость или, если вы предпочитаете что-либо более конкретное, поверхность прямоугольного стола (рис. 59). Положение точки на этом столе можно охарактеризовать двумя числами, а не одним, как раньше. Два числа суть расстояния от двух перпендикулярных краев стола. Не одно число, а пара чисел соответствует каждой точке плоскости; каждой паре чисел соответствует определенная точка. Другими словами, *плоскость есть двумерный континуум*. Тогда существуют точки, сколь угодно близкие к данной точке плоскости. Две отдаленные точки могут быть связаны кривой, разделенной на отрезки, сколь угодно малые. Таким образом, произвольная малость отрезков, последовательно укладываемых на кривой, связывающей две отдаленные точки, каждая из которых может быть определена двумя числами, снова является характеристикой двумерного континуума.

Еще один пример. Представим себе, что вы хотите в качестве системы координат рассматривать свою комнату. Это означает, что вы хотите любое положение тела определить относительно стен комнаты. Положение кончика лампы, если она в покое, может быть описано тремя числами: два из них определяют расстояние от двух перпендикулярных стен, а третье — расстояние от пола или потолка. Каждой точке пространства соответствуют три определенных числа; каждым трем числам соответствует определенная точка в пространстве (рис. 60). Это выражается предположением: *наше пространство есть трехмерный континуум*. Существуют точки, весьма близкие к каждой данной точке пространства. И опять произвольная малость отрезков линии, связывающей отдаленные точки, каждая из

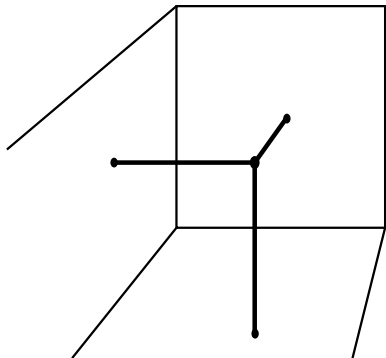


Рис. 60

Время в секундах	Высота над землей в метрах
0	80
1	75
2	60
3	35
4	0

которых представлена тремя числами, есть характеристика трехмерного континуума.

Но все это едва ли физика. Чтобы вернуться к физике, нужно рассмотреть движение материальных частиц. Чтобы исследовать и предсказывать явления в природе, необходимо рассматривать не только место, но и время физических событий. Возьмем снова очень простой пример.

Маленький камешек, который примем за частицу, падает с башни. Допустим, что высота башни равна 80 метрам. Со времен Галилея мы в состоянии предсказать координаты камня в произвольный момент времени после начала его падения.

На текущей стр[анице] представлена «временная таблица», приближенно описывающая положение камня после 1, 2, 3 и 4 секунд¹.

В нашей «временной таблице» зарегистрированы пять событий, каждое из которых представлено двумя числами — временем и пространственной координатой каждого события. Первое событие есть начало движения камня с высоты 80 метров от земли в момент, равный нулю. Второе событие есть совпадение камня с нашим твердым стержнем (башней) на высоте 75 метров от земли. Это имеет место по истечении одной секунды. Последнее событие есть удар камня о землю.

Те сведения, которые записаны во «временной таблице», можно было бы представить иначе. Пять пар чисел ее можно было бы представить, как пять точек на плоскости. Установим сначала масштаб. Например: пусть один отрезок будет представлять метр, а другой секунду (рис. 61).

Затем нарисуем две перпендикулярные линии, одну из них, скажем, горизонтальную, назовем временной осью, вертикальную же — пространственной осью. Мы сразу же видим, что нашу «временную таблицу» можно представить пятью точками в пространственно-временной плоскости (рис. 62).

Расстояние точек от пространственной оси представляют собой координаты времени, указанные в первой колонке «временной таблицы», а расстояния от оси времен — их пространственные координаты.

Одна и та же связь выражена двумя способами: с помощью «временной таблицы» и точками на плоскости. Одно может быть построено из другого. Выбор между этими двумя представлениями

¹ В квадратные скобки взяты указания на текущую страницу. В оригинале — это указание на страницу оригинала. — *Прим. ред.*

является делом лишь вкуса, ибо в действительности они оба эквивалентны.



Сделаем теперь еще один шаг. Представим себе улучшенную «временную таблицу», дающую положения не для каждой секунды, а, скажем, для каждой сотой или тысячной доли секунды. Тогда у нас будет много точек в нашей пространственно-временной плоскости. Наконец, если положение дается для каждого мгновения или, как говорят математики, если пространственная координата дается как функция времени, то совокупность точек становится непрерывной линией. Поэтому наш следующий рисунок дает не отрывочные сведения, как прежде, а полное представление о движении камня (рис. 63).

Рис. 61

Движение вдоль твердого стрежня (башни), т. е. движение в одномерном пространстве, представлено здесь в виде кривой в двухмерном пространственно-временном континууме. Каждой точке в нашем пространственно-временном континууме соответствует пара чисел, одно из которых отмечает временную, а другое — пространственную координату. Наоборот: определенная точка в нашем пространственно-временном континууме соответствует некоторой паре чисел, характеризующей событие. Две соседние точки представляют собой два события, происшедшие в местах, близких друг от друга, и в моменты времени, непосредственно следующие друг за другом.

Вы могли бы возразить против нашего способа представления следующим образом: мало смысла в представлении единицы времени отрезком, в его механическом соединении с пространством, образующим двухмерный континуум из двух одномерных континуумов. Но тогда вы должны были бы столь же серьезно протестовать против всех графиков, представляющих, например, изменение температуры в Нью-Йорке в течение последнего лета, или против графиков, изображающих изменение стоимости жизни за

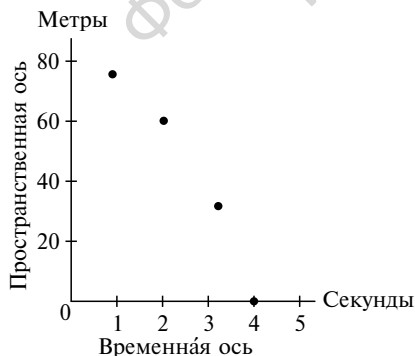


Рис. 62

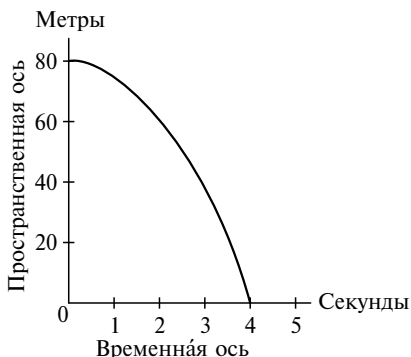


Рис. 63

последние несколько лет, так как в каждом из этих случаев употребляется тот же самый метод. В температурных графиках одномерный температурный континуум соединяется с одномерным временным континуумом в двухмерный температурно-временной континуум.

Вернемся к частице, падающей с 80-метровой башни. Наша графическая картина движения есть полезное соглашение, так как она позволяет нам характеризовать положение частицы в любой произвольный момент времени. Зная, как движется частица, мы хотели бы изобразить ее движение еще раз. Сделать это можно двумя путями.

Вспомним изображение частиц, изменяющих свое положение со временем в одномерном пространстве. Мы изображаем движение как ряд событий в одномерном пространственном континууме. Мы не смешиваем время и пространство, применяя *динамическую* картину, в которой положения *изменяются* со временем.

Но можно изобразить то же самое движение другим путем. Мы можем образовать *статическую* картину, рассматривая кривую в двухмерном пространственно-временном континууме. Теперь движение рассматривается как нечто, что *есть*, что существует в двухмерном пространственно-временном континууме, а не как нечто, изменяющееся в одномерном пространственном континууме.

Обе эти картины совершенно равноценны, и предпочтение одной из них перед другой есть дело лишь соглашения и вкуса.

То, что здесь сказано о двух картинах движения, не имеет отношения к теории относительности. Оба представления могут быть использованы с одинаковым правом, хотя классическая теория скорее предпочитала динамическую картину описания движения, как того, что происходит в пространстве, статической картине, описывающей его в пространстве-времени. Но теория относительности изменила этот взгляд. Она явно предпочла статическую картину и нашла в этом представлении движения, как того, что существует в пространстве-времени, более удобную и более объективную картину реальности. Мы должны еще ответить на вопрос, почему эти две картины эквивалентны с точки зрения классической физики и не эквивалентны с точки зрения теории относительности. Ответ будет понятным, если снова рассмотреть две системы координат, движущиеся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.

Согласно классической физике наблюдатели в обеих системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, найдут для одного и того же события различные пространственные координаты, но одну и ту же временную координату. Таким образом, в нашем примере удар камня о землю характеризуется при нашем выборе системы координат временной координатой «4» и пространственной координатой «0». Согласно класси-

ческой механике наблюдатели, движущиеся прямолинейно и равномерно относительно выбранной системы координат, обнаружат, что камень достигнет земли спустя четыре секунды после начала падения. Но каждый из наблюдателей относит расстояние к своей системе координат, и они будут, вообще говоря, связывать различные пространственные координаты с событием соударения, хотя временная координата будет одной и той же для всех других наблюдателей, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Классическая физика знает только «абсолютное» время, текущее одинаково для всех наблюдателей. Для каждой системы координат двухмерный континуум может быть разбит на два одномерных континуума: время и пространство. Благодаря «абсолютному» характеру времени переход от «статики» к «динамической» картине движения имеет в классической физике объективный смысл.

Но мы уже убедились в том, что классические преобразования не могут применяться в физике в общем случае. С практической точки зрения они еще пригодны для малых скоростей, но не годятся для обоснования фундаментальных физических вопросов.

Согласно теории относительности момент соударения камня с землей не будет одним и тем же для всех наблюдателей. И временная координата, и пространственная координата будут различными в двух различных системах координат, и изменение временной координаты будет весьма заметным, если относительная скорость систем приближается к скорости света. Двухмерный континуум не может быть разбит на два одномерных континуума как в классической физике. Мы не можем рассматривать пространство и время раздельно при определении пространственно-временных координат в другой системе координат. Разделение двухмерного континуума на два одномерных оказывается, с точки зрения теории относительности, произвольным процессом, не имеющим объективного смысла.

Все, что мы только что сказали, нетрудно обобщить для случая движения, не ограниченного прямой линией. В самом деле, для описания событий в природе нужно применить не два, а четыре числа. Физическое пространство, постигаемое через объекты и их движения, имеет три измерения, и положения объектов характеризуются тремя числами. Момент события есть четвертое число. Каждому событию соответствует четыре определенных числа; каким-либо четверем числам соответствует определенное событие. Поэтому мир событий образует четырехмерный континуум. В этом нет ничего мистического, и последнее предложение одинаково справедливо и для классической физики, и для теории относительности. И опять различие обнаруживается лишь тогда, когда рассматриваются две системы координат, движущиеся друг относительно друга. Пусть движется комната, а наблюдатели внутри и

вне ее определяют пространственно-временные координаты одних и тех же событий. Сторонник классической физики разобьет *четырёхмерный континуум* на трехмерное пространство и одномерный временной континуум. Старый физик заботится только о преобразовании пространства, так как время для него абсолютно. Он находит разбиение четырехмерного мирового континуума на пространство и время естественным и удобным. Но с точки зрения теории относительности время, так же как и пространство, изменяется при переходе от одной системы координат к другой, и преобразования Лоренца рассматривают трансформационные свойства четырехмерного пространственно-временного континуума — нашего четырехмерного мира событий.

Мир событий может быть описан динамически с помощью картины, изменяющейся во времени и набросанной на фоне трехмерного пространства. Но он может быть также описан посредством статической картины, набросанной на фоне четырехмерного пространственно-временного континуума. С точки зрения классической физики обе картины, динамическая и статическая, — равноценны. Но с точки зрения теории относительности статическая картина более удобна и более объективна.

Даже в теории относительности мы можем еще употреблять динамическую картину, если мы ее предпочитаем. Но мы должны помнить, что это деление на время и пространство не имеет объективного смысла, так как время больше не является «абсолютным». Дальше мы еще будем пользоваться «динамическим», а не «статическим» языком, но при этом всегда будем учитывать его ограниченность.

ОБЩАЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

Остается выяснить еще один момент. Пока еще не решен один из наиболее фундаментальных вопросов: существует ли инерциальная система? Мы узнали кое-что о законах природы, их инвариантности по отношению к преобразованиям Лоренца и их справедливости во всех инерциальных системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Мы имеем законы, но не знаем того «тела отсчета», к которому следует их отнести.

Для того чтобы больше знать об этих трудностях, побеседуем с физиком, стоящим на позиции классической физики, и зададим ему несколько простых вопросов:

— Что такое инерциальная система?

— Это система координат, в которой справедливы законы механики. Тело, на которое не действуют внешние силы, движется в такой системе прямолинейно и равномерно. Это свойство позволяет нам, следовательно, отличить инерциальную систему координат от всякой другой.

— Но что значит, что на тело не действуют никакие внешние силы?

— Это просто значит, что тело движется прямолинейно и равномерно в инерциальной системе координат.

Здесь вы могли бы еще раз поставить вопрос: «Что же такое инерциальная система координат?» Но поскольку имеется мало надежд получить ответ, отличный от вышеприведенного, постараемся добиться конкретной информации, изменив вопрос:

— Является ли система, жестко связанная с Землей, инерциальной?

— Нет, потому что законы механики не являются строго справедливыми на Земле благодаря ее вращению. Систему координат, жестко связанную с Солнцем, можно считать инерциальной при решении многих проблем; но когда мы говорим о вращении Солнца, мы снова заключаем, что жестко связанную с ним систему координат нельзя считать строго инерциальной.

— Тогда что конкретно является вашей инерциальной системой координат и как следует выбрать состояние ее движения?

— Это только полезная фикция, и у меня нет никакого представления о том, как ее реализовать. Если бы только я мог изолироваться от всех материальных тел и освободиться от всех внешних влияний, то моя система координат была бы инерциальной.

— Но что вы имеете в виду, говоря о системе координат, свободной от всех внешних влияний?

— Я имею в виду, что система координат инерциальна. — Мы вновь вернулись к нашему первоначальному вопросу!

Наша беседа обнаруживает серьезную трудность в классической физике. Мы имеем законы, но не знаем, каково то тело отсчета, к которому следует их отнести, и все наше физическое построение оказывается возведенным на песок.

Мы можем подойти к той же трудности с другой точки зрения. Постараемся представить себе, что во всей Вселенной существует только одно тело, образующее нашу систему координат. Это тело начинает вращаться. Согласно классической механике физические законы для вращающегося тела отличны от законов для невращающегося тела. Если принцип инерции справедлив в одном случае, то он несправедлив в другом. Но все это звучит очень сомнительно. Позволительно ли рассматривать движение лишь одного тела во всей Вселенной? Под движением тела мы всегда разумеем изменение его положения относительно другого тела. Поэтому говорить о движении одного-единственного тела — значит противоречить здравому смыслу. Классическая механика и здравый смысл сильно расходятся в этом пункте. Рецепт Ньютона таков: если принцип инерции имеет силу, то система координат либо покоится, либо движется прямолинейно и равномерно. Если принцип инерции не имеет силы, то тело не находится в прямолинейном и

равномерном движении. Таким образом, наш вывод о движении или покое зависит от того, применимы или нет все физические законы к данной системе координат.

Возьмем два тела, например Солнце и Землю. Движение, которое мы наблюдаем, опять *относительное*. Его можно описать с помощью системы координат, связанной либо с Землей, либо с Солнцем. С этой точки зрения великое достижение Коперника состоит в переносе системы координат с Земли на Солнце. Но поскольку движение относительно и можно применить любое тело отсчета, то оказывается, что нет никаких оснований для того, чтобы предпочесть одну систему координат другой.

Снова вмешивается физика и изменяет нашу общепринятую точку зрения. Система координат, связанная с Солнцем, имеет с инерциальной системой большее сходство, чем система, связанная с Землей. Физические законы предпочтительнее применять в системе Коперника, чем в системе Птолемея. Величие открытия Коперника может быть высоко оценено лишь с физической точки зрения. Физика показывает, что для описания движения планет система координат, жестко связанная с Солнцем, имеет огромные преимущества.

В классической физике нет никакого абсолютного прямолинейного и равномерного движения. Если две системы координат движутся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, то нет никаких оснований говорить: «Эта система покоится, а другая движется». Но если обе системы координат находятся в непрямолинейном и неравномерном движении друг относительно друга, то имеется полное основание сказать: «Это тело движется, а другое покоится (или движется прямолинейно и равномерно)». Абсолютное движение имеет здесь вполне определенный смысл. В этом месте между здравым смыслом и классической физикой имеется широкая пропасть. Упомянутые трудности, касающиеся инерциальной системы, а также и трудности, касающиеся абсолютного движения, тесно связаны между собой. Абсолютное движение становится возможным только благодаря идее об инерциальной системе, для которой справедливы законы природы.

Может показаться, что будто бы нет выхода из этих трудностей, что будто бы никакая физическая теория не может избежать их. Источник их лежит в том, что законы природы справедливы только для особого класса систем координат, а именно для инерциальных. Возможность разрешения этих трудностей зависит от ответа на следующий вопрос: можем ли мы сформулировать физические законы таким образом, чтобы они были справедливыми для всех систем координат, не только для систем, движущихся прямолинейно и равномерно, но и для систем, движущихся совершенно произвольно по отношению друг к другу? Если это

можно сделать, то наши трудности будут разрешены. Тогда мы будем в состоянии применять законы природы в любой системе координат. Борьба между воззрениями Птолемея и Коперника, столь жестокая в ранние дни науки, стала бы тогда совершенно бессмысленной. Любая система координат могла бы применяться с одинаковым основанием. Два предложения — «Солнце покоится, а Земля движется» и «Солнце движется, а Земля покоится» — означали бы просто два различных соглашения о двух различных системах координат.

Могли ли бы мы построить реальную релятивистскую физику, справедливую во всех системах координат; физику, в которой имело бы место не абсолютное, а лишь относительное движение? Это, в самом деле, оказывается возможным!

У нас есть по крайней мере одно, хотя и очень слабое, указание о том, как построить новую физику. Действительно, релятивистская физика должна применяться во всех системах координат, а стало быть, и в специальном случае — в инерциальной системе. Мы уже знаем законы для этой инерциальной системы координат. Новые общие законы, справедливые для всех систем координат, должны в специальном случае инерциальной системы сводиться к старым, известным законам.

Проблема формулирования физических законов для всякой системы координат была разрешена так называемой *общей теорией относительности*; предыдущая теория, *применяемая только к инерциальным системам*, называется *специальной теорией относительности*. Эти две теории не могут, разумеется, противоречить друг другу, так как мы всегда должны включать установленные ранее законы специальной теории относительности в общие законы для случая неинерциальной системы. Но если раньше инерциальная система координат была единственной, для которой были сформулированы физические законы, то теперь она будет представлять особый предельный случай, поскольку допустимы любые системы координат, движущиеся произвольно по отношению друг к другу.

Такова программа общей теории относительности. Но, обрисовывая путь, каким она создавалась, мы должны быть еще менее конкретными, чем это было до сих пор. Новые трудности, возникающие в процессе развития науки, вынуждают нашу теорию становиться все более и более абстрактной. Нас ожидает еще ряд неожиданностей. Но наша постоянная конечная цель — все лучшее и лучшее понимание реальности. К логической цепи, связывающей теорию и наблюдение, прибавляются новые звенья. Чтобы очистить путь, ведущий от теории к эксперименту, от ненужных и искусственных допущений, чтобы охватить все более обширную область фактов, мы должны делать цепь все длиннее и длиннее. Чем проще и фундаментальнее становятся наши допу-

щения, тем сложнее математическое орудие нашего рассуждения; путь от теории к наблюдению становится длиннее, тоньше и сложнее. Хотя это и звучит парадоксально, но мы можем сказать: современная физика проще, чем старая физика, и поэтому она кажется более трудной и запутанной. Чем проще наша картина внешнего мира и чем больше фактов она охватывает, тем резче отражает она в наших умах гармонию Вселенной.

Наша новая идея проста: построить физику, справедливую для всех систем координат. Осуществление этой идеи приносит формальное усложнение и вынуждает нас использовать математические методы, отличные от тех, которые до сих пор применялись в физике. Мы покажем здесь только связь между осуществлением этой программы и двумя принципиальными проблемами: тяготением и геометрией.

ВНЕ И ВНУТРИ ЛИФТА

Закон инерции является первым большим успехом в физике, фактически ее действительным началом. Он был получен размышлением об идеализированном эксперименте, о теле, постоянно движущемся без трения и без воздействия каких-либо других внешних сил. Из этого примера, а позднее из многих других, мы узнали о важности идеализированного эксперимента, созданного мышлением. Здесь тоже будут обсуждаться идеализированные эксперименты. Хотя они и могут выглядеть весьма фантастично, тем не менее они помогут нам понять в относительности столько, сколько это возможно с помощью наших простых методов.

Раньше у нас был идеализированный эксперимент с прямолинейно и равномерно движущейся комнатой. Здесь мы будем иметь дело с падающим лифтом.

Представим себе огромный лифт на башне небоскреба, гораздо более высокого, чем какой-либо из действительно построенных. Внезапно канат, поддерживающий лифт, обрывается, и лифт свободно падает по направлению к земле. Во время падения наблюдатели в лифте производят опыты. Описывая их, мы можем не заботиться о сопротивлении воздуха или трении, потому что в наших идеализированных условиях можно пренебречь их наличием. Один из наблюдателей вынимает платок и часы из своего кармана и выпускает их из рук. Что происходит с этими предметами? Для внешнего наблюдателя, который смотрит через окно лифта, и платок, и часы падают по направлению к земле с одинаковым ускорением. Мы помним, что ускорение падающих тел совершенно независимо от их масс, и это было тем фактом, который обнаружил равенство тяжелой и инертной массы. Мы помним также, что равенство двух масс — тяжелой и инертной — с точки зрения классической механики было совершенно случайным фактом и

не играло никакой роли в ее структуре. Однако здесь это равенство, отраженное в равенстве ускорения всех падающих тел, существенно и составляет основу всех наших рассуждений.

Вернемся к падающим платку и часам; для внешнего наблюдателя оба предмета падают с одинаковым ускорением. Но таково же ускорение и лифта, его стен, пола и потолка. Поэтому расстояние между обоими телами и полом не изменится. Для внутреннего наблюдателя оба тела остаются точно там же, где они были в тот момент, когда наблюдатель выпустил их из рук. Внутренний наблюдатель может игнорировать поле тяготения, так как источник последнего лежит вне его системы координат. Он находит, что никакие силы внутри лифта не действуют на оба тела, и, таким образом, они остаются в покое, как если бы они находились в инерциальной системе. Странные вещи происходят в лифте! Если наблюдатель толкает тело в каком-либо направлении, например, вверх или вниз, то оно всегда движется прямолинейно и равномерно, пока не столкнется с потолком или полом лифта. Короче говоря, законы классической механики справедливы для наблюдателя внутри лифта. Все тела ведут себя так, как следовало ожидать по закону инерции. Наша новая система координат, жестко связанная со свободно падающим лифтом, отличается от инерциальной системы лишь в одном отношении. В инерциальной системе координат движущееся тело, на которое не действуют никакие силы, будет вечно двигаться прямолинейно и равномерно. Инерциальная система координат, рассматриваемая в классической физике, не ограничена ни в пространстве, ни во времени. Однако рассматриваемый случай с наблюдателем, находящимся в лифте, иной. Инерциальный характер его системы координат ограничен в пространстве и времени. Рано или поздно прямолинейно и равномерно движущееся тело столкнется со стенками лифта; при этом прямолинейное и равномерное движение нарушится. Рано или поздно весь лифт столкнется с землей, уничтожив наблюдателей и их опыты. Эта система координат является лишь «карманным изданием» реальной инерциальной системы.

Этот локальный характер системы координат весьма существен. Если бы наш воображаемый лифт достигал размеров от Северного полюса до экватора и платок был бы помещен на Северном полюсе, а часы на экваторе, то для внешнего наблюдателя оба тела не имели бы одинакового ускорения; они не были бы в покое друг относительно друга. Все наши рассуждения потерпели бы крушение! Размеры лифта должны быть ограничены так, чтобы можно было предположить равенство ускорений всех тел по отношению к внешнему наблюдателю.

С этим ограничением система координат, связанная с падающим лифтом, инерциальна для внутреннего наблюдателя. По крайней мере мы можем указать систему координат, в которой спра-

ведливы все физические законы, хотя она и ограничена во времени и пространстве. Если мы вообразим другую систему координат, другой лифт, движущийся прямолинейно и равномерно относительно свободно падающего, то обе эти системы координат будут локально инерциальными. Все законы совершенно одинаковы в обеих системах. Переход от одной системы к другой дается преобразованием Лоренца.

Посмотрим, каким путем оба наблюдателя, внешний и внутренний, описывают то, что происходит в лифте.

Внешний наблюдатель замечает движение лифта и всех тел в нем и находит его соответствующим закону тяготения Ньютона. Для него движение является не равномерным, а ускоренным вследствие действия поля тяготения земли.

Однако поколение физиков, рожденное и воспитанное в лифте, рассуждало бы совершенно иначе. Оно было бы уверено в том, что оно обладает инерциальной системой, и относило бы все законы природы к своему лифту, заявляя с уверенностью, что законы принимают особенно простую форму в их системе координат. Для них было бы естественным считать свой лифт покоящимся и свою систему координат инерциальной.

Невозможно установить принципиальное различие между внешним и внутренним наблюдателями. Каждый из них мог бы претендовать на право отнести все события к своей системе координат. Оба описания событий можно было бы сделать одинаково последовательными.

Из этого примера мы видим, что последовательное описание физических явлений в двух различных системах координат возможно, даже если они не движутся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Но для такого описания мы должны принять во внимание тяготение, создающее, так сказать, «мост», позволяющий перейти от одной системы координат к другой. Поле тяготения существует для внешнего наблюдателя, для внутреннего наблюдателя оно не существует. Ускоренное движение лифта в поле тяготения существует для внешнего наблюдателя, для внутреннего же наблюдателя — покой и отсутствие поля тяготения. Но «мост», т. е. поле тяготения, делающее описание в обеих системах координат возможным, покоится на одной очень важной опоре: эквивалентности тяжелой и инертной масс. Без этой руководящей идеи, оставшейся незамеченной в классической механике, наши теперешние рассуждения полностью отпали бы.

Возьмем несколько иной идеализированный эксперимент. Пусть имеется инерциальная система координат, в которой справедлив закон инерции. Мы уже описывали то, что происходит в лифте, покоящемся в такой инерциальной системе. Но теперь мы изменим картину. Кто-то извне привязал к лифту канат и тянет его с постоянной силой в направлении, указанном на рисунке 64.

Неважно, как это осуществлено. Так как законы механики справедливы в этой системе координат, то лифт в целом движется с постоянным ускорением в направлении движения. Будем опять слушать объяснения явлений, происходящих в лифте, даваемые внешним и внутренним наблюдателями.

Внешний наблюдатель. Моя система координат инерциальна. Лифт движется с постоянным ускорением, потому что подвергается воздействию постоянной силы. Наблюдатели внутри лифта находятся в абсолютном движении, для них законы механики несправедливы. Они не находят, что тела, на которые не действуют силы, покоятся. Если тело остается свободным, оно скоро столкнется с полом лифта, так как пол движется вверх по направлению к телу. Это происходит одинаково и с часами, и с платком. Мне кажется очень странным, что наблюдатель внутри лифта должен всегда быть на «полу», потому что, как только он прыгнет, пол достигнет его вновь.

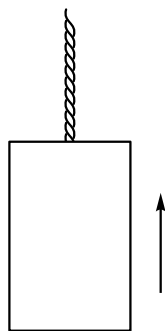


Рис. 64

Внутренний наблюдатель. Я не вижу какого-либо основания считать, что мой лифт находится в абсолютном движении. Я согласен, что моя система координат, жестко связанная с лифтом, фактически не инерциальна, но я не думаю, что это имеет какое-то отношение к абсолютному движению. Мои часы, платок и все тела падают потому, что лифт в целом находится в поле тяготения. Я замечаю движение точно такого же рода, как и человек на Земле. Он объясняет его очень просто — действием поля тяготения. Такое же объяснение подходит и для меня.

Эти два описания — одно данное внешним, а другое — внутренним наблюдателем, — вполне последовательны, и нет возможности решить, какое из них правильно. Мы можем принять любое из них для описания явлений в лифте: либо вместе с внешним наблюдателем принять неравномерность движения и отсутствие поля тяготения, либо вместе с внутренним наблюдателем принять покой и наличие поля тяготения.

Внешний наблюдатель может предположить, что лифт находится в «абсолютном» неравномерном движении. Но движение, которое уничтожается предположением о действии поля тяготения, не может считаться абсолютным.

Возможно, что имеется выход из неопределенности, созданной наличием двух различных описаний, и, может быть, можно было бы вынести решение в пользу одного и против другого. Представим себе, что световой луч входит в лифт горизонтально через боковое окно и спустя очень короткое время достигает противоположной стены. Посмотрим, каковы будут предсказания обоих наблюдателей относительно пути луча.

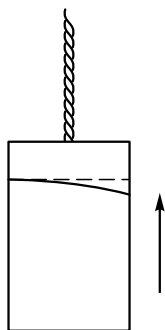


Рис. 65

Внешний наблюдатель, который считает, что лифт находится в ускоренном движении, утверждал бы: световой луч входит в окно и движется горизонтально вдоль прямой с постоянной скоростью по направлению к противоположной стене. Но лифт движется вверх, и за время, в течение которого свет доходит к стене, лифт изменит свое положение. Поэтому свет упадет в точку, расположенную не точно напротив точки его входа, а немного ниже (рис. 65). Смещение будет очень небольшим, но тем не менее оно существует, и световой луч проходит относительно лифта не вдоль прямой, а вдоль слабо искривленной линии. Это вызвано тем, что за то время, когда луч пересекает внутренность лифта, сам лифт смещается на некоторое расстояние.

Внутренний наблюдатель, который считает, что на все объекты в лифте действует поле тяготения, сказал бы: ускоренного движения лифта нет, а есть лишь действие поля тяготения. Луч света невесом и потому не будет подвергаться действию поля тяготения. Если его направить горизонтально, он упадет на стену в точке как раз напротив той, в которую он вошел.

Из этого обсуждения следует, что имеется возможность выбора одной из двух противоположных точек зрения, так как явление различалось бы для обоих наблюдателей. Если ни в одном из только что указанных объяснений нет ничего нелогичного, то все наши предыдущие рассуждения нарушаются, и мы не можем последовательно описывать все явления двумя методами, либо принимая поле тяготения, либо отказываясь от него.

Но, к счастью, в рассуждениях внутреннего наблюдателя имеется серьезная ошибка, спасающая наши предыдущие заключения. Он сказал: «Луч света невесом и потому не будет подвергаться действию поля тяготения». Но это неверно! Луч света несет энергию, а энергия имеет массу. Но на всякую инертную массу поле тяготения оказывает воздействие, так как инертная и тяжелая массы эквивалентны. Луч света будет искривляться в поле тяготения точно так же, как искривляется траектория тела, брошенного горизонтально со скоростью, равной скорости света. Если бы внутренний наблюдатель рассуждал строго и принял бы во внимание искривление световых лучей в поле тяготения, то его выводы были бы точно такими же, как и выводы внешнего наблюдателя.

Поле тяготения Земли, конечно, очень слабо для того, чтобы искривление светового луча в нем можно было обнаружить непосредственно экспериментом. Но известные опыты, сделанные во время солнечных затмений, убедительно, хотя и косвенно, показывают влияние поля тяготения на путь светового луча.

Из этих примеров следует, что имеется вполне обоснованная надежда сформулировать релятивистскую физику. Но для этого мы должны сначала разрешить проблему тяготения.

Мы видели на примере с лифтом последовательность двух описаний. Можно предположить наличие неравномерности движения, а можно этого не делать. Мы можем исключить из наших примеров «абсолютное» движение с помощью поля тяготения. Но тогда в неравномерном движении нет ничего абсолютного. Поле тяготения в состоянии полностью его уничтожить.

Призраки абсолютного движения и инерциальной системы координат могут быть исключены из физики и может быть построена новая релятивистская физика. Наши идеализированные опыты показывают, как тесно связана проблема общей теории относительности с проблемой тяготения и почему эквивалентность тяжелой и инертной масс так существенна для этой связи. Ясно, что решение проблемы тяготения в общей теории относительности должно отличаться от ньютоновского. Законы тяготения, так же как и все законы природы, должны быть сформулированы для всех возможных систем координат, в то время как законы классической механики, сформулированные Ньютоном, справедливы лишь в инерциальных системах координат.

ГЕОМЕТРИЯ И ОПЫТ

Наш следующий пример будет более фантастичным, чем пример с падающим лифтом. Мы должны подойти к новой проблеме, проблеме связи между общей теорией относительности и геометрией. Начнем с описания мира, в котором живут лишь двухмерные, а не трехмерные существа, как в нашем. Кинематограф приучил нас к двумерным существам, действующим на двумерном экране. Представим себе теперь, что эти теневые фигуры, действующие на экране, действительно существуют, что они обладают способностью мышления, что они могут создавать свою собственную науку, что для них двумерный экран олицетворяет геометрическое пространство. Эти существа не в состоянии представить себе наглядным образом трехмерное пространство так же, как мы не в состоянии представить мир четырех измерений. Они могут изогнуть прямую линию; они знают, что такое круг, но они не в состоянии построить сферу, потому что это означало бы покинуть их двумерный экран. Мы находимся в таком же положении. Мы в состоянии изогнуть и линию, и поверхности, но мы с трудом можем представить искривленное пространство.

Живя, мысля и экспериментируя, наши теневые фигуры могли бы, возможно, овладеть знанием двумерной евклидовой геометрии. Таким образом, они могли бы доказать, что сумма углов в треугольнике равна 180 градусам. Они могли бы построить два круга

с общим центром, один очень малый, а другой большой. Они нашли бы, что отношение длин окружностей двух таких кругов равно отношению их радиусов — результат, опять характерный для евклидовой геометрии. Если бы экран был бесконечно велик, то наши теневые существа нашли бы, что, отправившись однажды в путешествие вперед по прямой, они никогда не вернулись бы к своей отправной точке.

Представим себе теперь, что эти двумерные существа живут в измененных условиях. Предположим, что кто-то извне, из «третьего измерения», перенес их с экрана на поверхность сферы с очень большим радиусом. Если эти тени очень малы по отношению ко всей поверхности, если у них нет средств дальнего сообщения и они не могут двигаться очень далеко, то они не обнаружат какого-либо изменения. Сумма углов в малых треугольниках еще составляет 180 градусов. Отношение радиусов двух малых кругов с общим центром еще равно отношению длин их окружностей.

Но пусть эти теневые существа с течением времени развивают свои теоретические и технические познания. Пусть ими найдены средства сообщения, позволяющие им быстро покрывать огромные расстояния. Тогда они найдут, что, отправляясь в путешествие прямо вперед, они, в конце концов, вернутся к своей исходной точке. «Прямо вперед» означает вдоль большого круга сферы. Они найдут также, что отношение длин двух концентрических окружностей не равно отношению радиусов, если один из радиусов мал, а другой велик.

Если наши двумерные существа консервативны, если их поколения изучали евклидову геометрию в прошлом, когда они не могли далеко путешествовать и когда эта геометрия соответствовала наблюдаемым фактам, то они, конечно, сделают все возможное, чтобы сохранить ее, несмотря на очевидность своих измерений. Они постараются заставить физику нести бремя этих противоречий. Они станут искать какие-либо физические основания, скажем, различие температур, деформирующее линии и вызывающее отклонение от евклидовой геометрии. Но раньше или позже они должны будут найти, что имеется гораздо более логический и последовательный путь описания этих явлений. Они окончательно поймут, что их мир конечен, что его геометрические принципы отличны от тех, которые они изучали. Несмотря на свою неспособность представить себе свой мир, они поймут, что он есть двумерная поверхность сферы. Они скоро изучат новые принципы геометрии, которая, хотя и отличается от евклидовой, тем не менее может быть сформулирована так же последовательно и логично для их двумерного мира. Новому поколению, воспитанному на знании сферической геометрии, старая евклидова геометрия будет казаться более сложной и искусственной, так как она не соответствует наблюдаемым фактам.

Вернемся к трехмерным существам нашего мира.

Что это значит, когда утверждают, что наше трехмерное пространство имеет евклидов характер? Смысл этого в том, что все логически доказанные положения евклидовой геометрии могут быть точно подтверждены действительным экспериментом. С помощью твердых тел или световых лучей мы можем построить объекты, соответствующие идеализированным объектам евклидовой геометрии. Ребро линейки или световой луч соответствуют прямой. Сумма углов треугольника, построенного из тонких жестких стержней, равна 180 градусам. Отношение радиусов двух концентрических окружностей, построенных из тонкой упругой проволоки, равно отношению длин окружностей. Истолкованная таким образом евклидова геометрия становится главой физики, хотя и очень простой ее главой.

Но мы можем представить себе, что обнаружены противоречия: например, что сумма углов большого треугольника, построенного из стержней, которые по многим основаниям должны были считаться твердыми, не равна 180 градусам. Так как мы уже прибегали к идее конкретного представления объектов евклидовой геометрии с помощью твердых тел, то мы, вероятно, стали бы искать какие-либо физические силы, которые явились причиной такого неожиданного поведения наших стержней. Мы постарались бы найти физическую природу этих сил и их влияние на другие явления. Чтобы спасти евклидову геометрию, мы обвинили бы объекты в том, что они не тверды, что они не точно соответствуют объектам евклидовой геометрии. Мы постарались бы найти лучшие тела, ведущие себя так, как это ожидается согласно евклидовой геометрии. Если бы, однако, нам не удалось объединить евклидову геометрию и физику в простую и последовательную картину, то мы должны были бы отказаться от идеи, что наше пространство евклидово, и искать более последовательную картину реальности на основе более общих предположений о геометрических свойствах нашего пространства.

Необходимость этого может быть проиллюстрирована с помощью идеализированного эксперимента, показывающего, что действительно релятивистская физика не может основываться на евклидовой геометрии. Наши рассуждения будут предполагать, что уже известны выводы, касающиеся инерциальной системы координат, а также специальная теория относительности.

Представим себе большой диск с двумя концентрическими окружностями, нарисованными на нем; одна из этих окружностей мала, другая очень велика (рис. 66). Диск быстро вращается. Он вращается относительно внешнего наблюдателя; пусть имеется еще внутренний наблюдатель, помещающийся на диске. Предположим далее, что система координат внешнего наблюдателя инерциальна. Внешний наблюдатель может нарисовать в своей

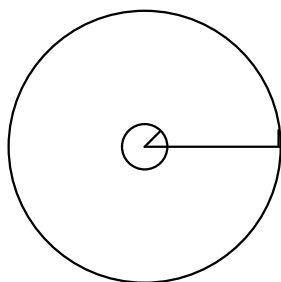


Рис. 66

инерциальной системе две такие же окружности — малую и большую, покоящиеся в его системе, но совпадающие с окружностями на вращающемся диске. Евклидова геометрия справедлива в его системе координат, так как его система инерциальна, — так что отношение длин окружностей равно отношению радиусов. А что же находит наблюдатель на диске? С точки зрения классической физики, а также специальной теории относительности его система координат недопустима.

Но если мы стремимся найти новую форму физических законов, справедливую в любой системе координат, то мы должны рассматривать наблюдателя на диске и наблюдателя внешнего с одинаковой серьезностью. Теперь мы извне следим за попыткой внутреннего наблюдателя найти путем измерения длины окружностей и радиусов на вращающемся диске. Он использует такой же небольшой измерительный масштаб, какой был использован внешним наблюдателем. «Такой же» означает либо действительно тот же, просто переданный внешним наблюдателем внутреннему, либо один из двух масштабов, имеющих одинаковую длину в покоящейся системе координат.

Внутренний наблюдатель на диске начинает измерение радиуса и длины окружности малого круга. Его результат может оказаться таким же, как и результат внешнего наблюдателя. Ось, на которой вращается диск, проходит через центр. Те части диска, которые близки к центру, имеют очень небольшие скорости. Если окружность достаточно мала, мы можем спокойно применить классическую механику и не обращать внимания на специальную теорию относительности. Это означает, что отрезок имеет одинаковую длину как для внешнего, так и для внутреннего наблюдателя, и результат двух измерений будет одинаков для них обоих. Теперь наблюдатель на диске измеряет радиус большой окружности. Помещенный на радиусе отрезок движется относительно внешнего наблюдателя. Однако такой отрезок не сокращается и будет иметь одинаковую длину для обоих наблюдателей, так как направление движения перпендикулярно к отрезку. Таким образом, три измерения одинаковы для обоих наблюдателей: два радиуса и малая окружность. Но не так обстоит дело с четвертым измерением. Длина большой окружности будет различна для обоих наблюдателей. Отрезок, помещенный на окружности в направлении движения, теперь будет казаться сокращенным для внешнего наблюдателя сравнительно с соответствующим ему покоящимся отрезком. Скорость на внешней окружности гораздо больше, чем скорость на внутренней окружности, и это сокращение должно быть учтено.

Поэтому, если мы применим выводы специальной теории относительности, наше заключение будет таково: длина большой окружности должна быть различной, если она измеряется обоими наблюдателями. Так как только одна из четырех длин, измеренных обоими наблюдателями, не будет одинаковой для обоих, то для внутреннего наблюдателя отношение обоих радиусов не может быть равным отношению окружностей, как это имеет место для внешнего наблюдателя. Это означает, что наблюдатель на диске не может подтвердить справедливость евклидовой геометрии в своей системе.

После получения этого результата наблюдатель на диске может сказать, что он не хочет рассматривать систему координат, в которой несправедлива евклидова геометрия. Нарушение евклидовой геометрии обязано абсолютному вращению, тому факту, что система координат, с которой связан наблюдатель, плоха и недопустима. Но, утверждая это, он отвергает важную идею общей теории относительности. С другой стороны, если мы хотим отвергнуть абсолютное движение и сохранить идею об общей относительности, то вся физика должна быть построена на основе более общей геометрии, чем евклидова. Нет возможности избежать этих следствий, если допустимы все системы координат.

Изменения, произведенные общей теорией относительности, не могут ограничиваться одним пространством. В специальной теории относительности у нас были часы, покоящиеся в каждой из систем координат, имеющие одинаковый ритм и синхронизированные, т.е. показывающие одинаковое время в один и тот же момент. Что происходит с часами в неинерциальной системе координат? Идеализированный эксперимент с диском снова будет нам полезен. Внешний наблюдатель имеет в своей инерциальной системе совершенные часы, которые все синхронизированы, все имеют одинаковый ритм. Внутренний наблюдатель берет двое часов одинакового сорта и помещает одни из них на малую внутреннюю окружность, а другие на большую внешнюю. Часы на внутренней окружности имеют очень небольшую скорость по отношению к внешнему наблюдателю. Поэтому мы можем спокойно заключить, что их ритм будет одинаков с ритмом внешних часов. Но часы на большой окружности имеют значительную скорость, изменяющую их ритм сравнительно с часами внешнего наблюдателя, а стало быть, и сравнительно с часами, помещенными на малой окружности. Таким образом, двое вращающихся часов будут иметь различный ритм, а применяя выводы специальной теории относительности, мы снова видим, что мы не можем во вращающейся системе создать какие-либо приборы, подобные приборам в инерциальной системе координат. Чтобы выяснить, какие выводы могут быть сделаны из этого и из описанных ранее идеализированных экспериментов, приведем еще раз

разговор между старым физиком C , который верит в классическую физику, и современным физиком H , который признает общую теорию относительности. Пусть C будет внешним наблюдателем в инерциальной системе координат, а H — наблюдателем на вращающемся диске.

C . В вашей системе евклидова геометрия несправедлива. Я следил за вашими измерениями, и я согласен, что отношение двух окружностей в вашей системе не равно отношению их радиусов. Но это показывает, что ваша система координат недопустима. А моя система — инерциального характера, и я свободно могу применять евклидову геометрию. Ваш диск находится в абсолютном движении и с точки зрения классической физики образует недопустимую систему, в которой законы механики несправедливы.

H . Я не хочу ничего слышать об абсолютном движении. Моя система так же хороша, как и ваша. Что я заметил, так это ваше вращение по отношению к моему диску. Никто не может мне запретить отнести все движения к моему диску.

C . Но не чувствовали ли вы странной силы, стремящейся удалить вас от центра диска? Если бы ваш диск не был быстро вращающейся каруселью, то две вещи, которые вы наблюдали, конечно, не имели бы места. Вы не заметили бы силы, толкающей вас к границе диска, и не заметили бы, что евклидова геометрия неприменима в вашей системе. Не достаточны ли эти факты, чтобы убедить вас, что ваша система находится в абсолютном движении?

H . Вовсе нет! Я, конечно, заметил оба факта, упомянутые вами, но я полагаю, что оба они вызываются сильным полем тяготения, действующим на мой диск. Поле тяготения, направленное от центра диска, деформирует мои твердые тела и изменяет ритм моих часов. Поле тяготения, неевклидова геометрия, часы с различным ритмом — все это кажется мне тесно связанным. Принимая какую-либо систему координат, я должен одновременно предположить наличие соответствующего поля тяготения и его влияние на твердые тела и часы.

C . Но вы знаете о трудностях, вызванных вашей общей теорией относительности? Мне хотелось бы сделать свою точку зрения ясной, приведя простой не физический пример. Представим себе идеализированный американский город, состоящий из параллельных улиц с параллельными проспектами, расположенными перпендикулярно к ним (рис. 67). Расстояние между улицами, а также между проспектами всюду одно и то же. Поскольку это так, то и кварталы совершенно оди-

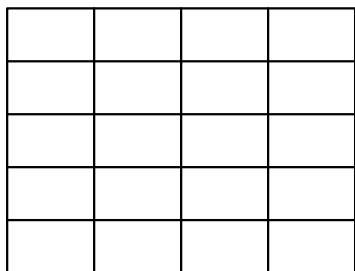


Рис. 67

наковы по величине. Таким путем я могу легко характеризовать положение любого квартала. Но это построение было бы невозможно без евклидовой геометрии. Таким образом, например, мы не можем покрыть всю нашу Землю одним большим идеальным американским городом. Один взгляд на глобус убедит вас в этом. Но мы не могли бы покрыть и ваш диск такой «американской городской конструкцией». Вы утверждаете, что ваши стержни деформированы гравитационным полем. Тот факт, что вы не могли подтвердить теорему Евклида о равенстве отношений радиусов и окружностей, ясно показывает, что если вы продолжите такое строительство улиц и проспектов достаточно далеко, то рано или поздно, вы придете к трудностям и найдете, что оно невозможно на вашем диске. Ваша геометрия на вращающемся диске подобна геометрии на кривой поверхности, где, конечно, указанное построение улиц и проспектов на достаточно большой части поверхности невозможно. Для того чтобы пример был более физическим, возьмем пластинку, неравномерно нагретую, с различной температурой в разных частях поверхности. Можете ли вы с помощью тонких железных прутков, длина которых увеличивается от нагревания, выполнить «параллельно-перпендикулярное» построение, нарисованное мною ниже? Конечно, нет! Ваше «поле тяготения» разыгрывает над вашими стержнями ту же шутку, что и изменение температуры над тонкими железными прутами.

Н. Все это не пугает меня. Построение улиц и проспектов необходимо для того, чтобы определить положения точек, часы — для того, чтобы установить порядок событий. Вовсе не необходимо, чтобы город был американским: с таким же успехом он может быть и древнеевропейским. Представим себе идеализированный город, построенный из пластичного материала и затем деформированный (рис. 68). Я могу все еще подсчитать кварталы и проспекты, хотя они уже больше не прямые и не равноудалены друг от друга. Подобно этому долготы и широты отмечают положения точек на нашей Земле, хотя на ней и нельзя осуществить построения «американского города».

С. Но я вижу еще трудность. Вы вынуждены использовать вашу «европейскую городскую структуру». Я согласен, что вы можете установить порядок точек или времени событий, но это построение спутает все измерения расстояний. Оно не даст вам метрические свойства пространства, как это дает мое построение. Возьмем

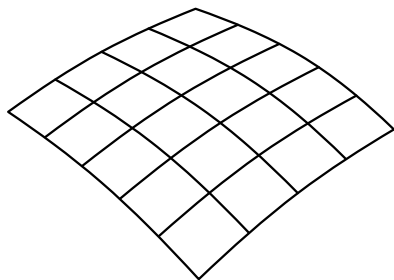


Рис. 68

пример. Я знаю, что пройдя в моем американском городе десять кварталов, я дважды покрою расстояния пяти кварталов. Так как я знаю, что все кварталы равны, я сразу же могу определить расстояния.

Н. Это верно. В моей «европейской городской структуре» я не могу сразу же определить расстояния числом деформированных кварталов. Я должен знать кое-что большее; я должен знать геометрические свойства моей поверхности. Совершенно так же каждый знает, что расстояние между 0° и 10° долготы на экваторе не равно расстоянию между теми же долготами вблизи Северного полюса. Но всякий штурман знает, как оценить расстояние между двумя такими точками на нашей Земле, ибо он знает ее геометрические свойства. Он может сделать это либо путем подсчета, основываясь на знании сферической тригонометрии, либо экспериментальным путем, проводя своей корабль по обоим путям с одинаковой скоростью. В вашем случае вся проблема тривиальна, ибо все улицы и проспекты равно отстоят друг от друга. В случае нашей Земли это уже более сложно; два меридиана 0° и 10° пересекаются на земных полюсах и наиболее отдалены друг от друга на экваторе. Подобно этому, чтобы определять расстояния, я должен знать в своей «европейской городской структуре» нечто большее, чем вы в своей «американской городской структуре». Я могу получить эти дополнительные знания изучением геометрических свойств моего континуума в каждом отдельном случае.

С. Все это только показывает, к какому неудобству и сложности приводит потеря простой структуры евклидовой геометрии ради запутанных построений, которые вы обязаны употреблять. Действительно ли это необходимо?

Н. Боюсь, что да, если мы желаем применять нашу физику в любой системе координат, не прибегая к таинственной инерциальной системе. Я согласен, что мой математический аппарат гораздо сложнее вашего, но зато мои физические предположения более просты и естественны.

Дискуссия ограничивалась двумерным континуумом. Предмет спора в общей теории относительности еще более сложен, так как там — не двумерный, а четырехмерный пространственно-временной континуум. Но идеи те же, что и набросанные здесь для случая двумерного пространства. В общей теории относительности мы не можем применять механических построений с помощью сети параллельно-перпендикулярных стержней и синхронизированных часов, как в специальной теории относительности. В произвольной системе координат мы не можем определить точку и момент времени, в которые произошло событие, используя твердые стержни и ритмичные и синхронизированные часы, как в инерциальной системе координат специальной теории относительности. Мы по-прежнему можем установить

порядок событий с помощью наших неевклидовых стержней и часов с различным ритмом. Но действительные измерения, требующие твердых стержней и совершенных ритмических и синхронизированных часов, могут быть выполнены только в локальной инерциальной системе. Для такой системы справедлива вся специальная теория относительности. Но наша «хорошая» система координат только локальна, ее инерциальный характер ограничен в пространстве и времени. Даже в нашей произвольной системе координат мы можем предвидеть результаты измерений, сделанные в локальной инерциальной системе. Но для этого мы должны знать геометрический характер нашего пространственно-временного континуума.

Наши идеализированные эксперименты показывают только общий характер новой релятивистской физики. Эти эксперименты показывают нам, что основной проблемой является проблема тяготения. Они показывают нам также, что общая теория относительности приводит к дальнейшему обобщению понятий времени и пространства.

ОБЩАЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Общая теория относительности пытается сформулировать физические законы для всех систем координат. Фундаментальная проблема теории относительности есть проблема тяготения. Теория относительности сделала первое со времени Ньютона серьезное усилие заново сформулировать закон тяготения. Действительно ли это необходимо? Мы уже узнали о достижениях теории Ньютона, об огромном развитии астрономии, основанном на его законе тяготения. Ньютонов закон еще остается основой всех астрономических расчетов. Но мы узнали также о некоторых возражениях против старой теории. Ньютонов закон справедлив только в инерциальной системе координат классической физики, в системе координат, определенной, как мы помним, условием, что в ней должны быть справедливы законы механики. Сила, действующая между двумя массами, зависит от расстояния между ними. Связь между силой и расстоянием, как мы знаем, инвариантна относительно классических преобразований. Но этот закон не соответствует строению специальной теории относительности. Расстояние не инвариантно по отношению к преобразованиям Лоренца. Мы могли бы стараться, что мы и делали успешно в отношении законов движения, обобщить закон тяготения, сделать его соответствующим специальной теории относительности или, другими словами, сформулировать его так, чтобы он был инвариантным по отношению к преобразованиям Лоренца, а не по отношению к классическим преобразованиям. Но ньютонов закон тяго-

тения упрямо сопротивляется всем нашим усилиям упростить и приспособить его к схеме специальной теории относительности. Даже если бы это и удалось нам, был бы необходим еще дальнейший шаг, шаг от инерциальной системы координат специальной теории относительности к произвольной системе общей теории относительности. С другой стороны, идеализированный эксперимент с падающим лифтом ясно показывает, что нет шансов сформулировать общую теорию относительности без разрешения проблемы тяготения. Из наших рассуждений видно, почему решение проблемы тяготения различно в классической физике и в общей теории относительности.

Мы постарались показать путь, ведущий нас к общей теории относительности, и основания, вынуждающие нас еще раз изменить наши старые взгляды. Не входя в формальную структуру теории, мы охарактеризуем некоторые черты новой теории тяготения для сравнения со старой. Не слишком трудно будет понять природу различий обеих теорий после всего, что было ранее сказано.

1. Гравитационные уравнения общей теории относительности могут быть применены к любой системе координат. Выбрать какую-либо особую систему координат в специальном случае — дело лишь удобства. Теоретически допустимы все системы координат. Игнорируя тяготение, мы автоматически возвращаемся к инерциальной системе специальной теории относительности.

2. Ньютонов закон тяготения связывает движение тела здесь и теперь с действием другого тела в то же самое время на далеком расстоянии. Этот закон стал образцом для всего механистического мировоззрения. Но механистическое мировоззрение потерпело крах. В уравнениях Максвелла мы создали новый образец для законов природы. Уравнения Максвелла суть структурные законы. Они связывают события, которые происходят теперь и здесь, с событиями, которые происходят немного позднее и в непосредственном соседстве. Они — суть законы, описывающие электромагнитное поле. Наши новые гравитационные уравнения суть также структурные законы, описывающие изменение поля тяготения. Схематически мы можем сказать: переход от ньютонова закона тяготения к общей относительности до некоторой степени аналогичен переходу от теории электрических жидкостей и закона Кулона к теории Максвелла.

3. Наш мир неевклидов. Геометрическая природа его образована массами и их скоростями. Гравитационные уравнения общей теории относительности стремятся раскрыть геометрические свойства нашего мира.

Предположим на минуту, что нам удалось последовательно выполнить программу общей теории относительности. Но не грозит ли нам опасность увлечения спекуляциями, слишком далекими

от реальности? Мы знаем, как хорошо старая теория объясняет астрономические наблюдения. Можно ли построить мост между новой теорией и наблюдением? Каждое рассуждение должно проверяться экспериментом, и любые выводы, как бы привлекательны они ни были, должны отбрасываться, если не соответствуют фактам. Как выдержала новая теория тяготения экспериментальную проверку? Ответ на этот вопрос можно дать в следующем предложении: старая теория есть особый предельный случай новой. Если силы тяготения сравнительно слабы, прежний ньютонов закон оказывается хорошим приближением к новым законам тяготения. Таким образом, все наблюдения, подтверждающие классическую теорию, подтверждают и общую теорию относительности. Мы вновь приходим к старой теории от более высокого уровня новой.

Даже если бы нельзя было указать дополнительных наблюдений в пользу новой теории, если бы ее объяснения были лишь столь же хороши, как и объяснения старой теории, предоставляя тем самым свободный выбор между обеими теориями, мы должны были бы отдать предпочтение новой. Уравнения новой теории с формальной точки зрения сложнее, но их предпосылки с точки зрения основных принципов гораздо проще. Исчезли два страшных привидения — абсолютное время и инерциальная система. Чрезвычайно важная идея эквивалентности тяжелой и инертной масс не осталась без внимания. Не надо допущений, касающихся сил тяготения и их зависимости от расстояния. Уравнения тяготения имеют форму структурных законов, форму, которая требуется от всех физических законов со времени великих достижений теории поля.

Из новых гравитационных законов могут быть сделаны и новые выводы, не содержащиеся в законах тяготения Ньютона. Один вывод, а именно отклонение светового луча в поле тяготения, уже указывался. Приведем еще два других следствия.

Если старые законы вытекают из новых, когда силы тяготения слабы, то отклонения от ньютонова закона тяготения можно ожидать только для сравнительно больших сил тяготения. Возьмем нашу солнечную систему. Планеты, и среди них наша Земля, движутся по эллиптическим орбитам вокруг Солнца. Меркурий — планета, наиболее близкая к Солнцу. Притяжение между Солнцем и Меркурием сильнее, чем между Солнцем и любой другой планетой, так как расстояние его от Солнца меньше. Если имеется какая-либо надежда найти отклонение от закона Ньютона, то наибольший шанс — движение Меркурия. Из классической теории следует, что путь, описываемый Меркурием, того же вида, как и путь любой другой планеты, и отличается лишь тем, что он ближе к Солнцу. Согласно общей теории относительности движение должно немного отличаться. Не только Меркурий должен вращаться вокруг солнца, но и

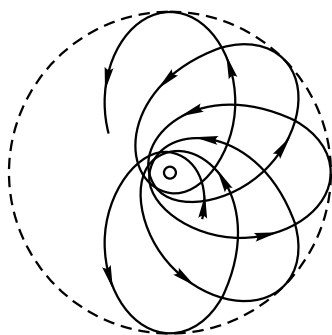


Рис. 69

эллипс, который он описывает, должен очень медленно вращаться относительно системы координат, связанной с Солнцем (рис. 69). Это вращение эллипса выражает новый эффект общей теории относительности. Новая теория предсказывает величину этого эффекта. Эллипс Меркурия осуществлял бы полное вращение в три миллиона лет! Мы видим, как незначителен этот эффект и как безнадежно было бы искать его в отношении планет, обращающихся на более далеком расстоянии от Солнца.

Отклонение орбиты планеты Меркурий от эллиптической было известно прежде, чем была сформулирована общая теория относительности, но никакого объяснения этому нельзя было найти. С другой стороны, общая теория относительности развивалась без всякого внимания к этой специальной проблеме. Заключение о вращении эллипса при движении планеты вокруг Солнца было сделано позднее из новых гравитационных уравнений. Теория успешно объяснила отклонение действительно происходящего движения Меркурия от движения, предписываемого законом Ньютона.

Но существует еще одно заключение, которое было сделано из общей теории относительности и сравнено с опытом. Мы уже видели, что ритм часов, помещенных на большой окружности вращающегося диска, отличен от ритма часов, помещенных на меньшем круге. Аналогично из теории относительности следует, что ритм часов, помещенных на Солнце, отличался бы от ритма часов, помещенных на Земле, так как влияние поля тяготения гораздо сильнее на Солнце, чем на Земле.

Мы заметили, что натрий, когда он раскален, испускает однородный желтый свет определенной длины волны. В этом излучении атом обнаруживает один из своих ритмов; атом представляет собой, так сказать, часы, а излученная длина волны — один из его ритмов. Согласно общей теории относительности длина волны света, излученного атомом натрия, скажем, помещенного на Солнце, должна быть несколько больше, чем длина волны света, излученного атомом натрия на нашей Земле.

Проблема проверки следствий общей теории относительности путем наблюдений сложна и точно никоим образом не решена. Поскольку мы интересуемся принципиальными идеями, мы не хотим входить в этот предмет глубже, а только устанавливаем, что пока приговор эксперимента, по-видимому, таков: подтвердить выводы, сделанные из общей теории относительности.

ПОЛЕ И ВЕЩЕСТВО

Мы видели, как и почему механистическая точка зрения потерпела крах. Невозможно было объяснить все явления, предполагая, что между неизменными частицами действуют простые силы. Первые попытки отойти от механистического взгляда и ввести понятия поля оказались наиболее успешными в области электромагнитных явлений. Были сформулированы структурные законы для электромагнитного поля — законы, связывающие события, смежные в пространстве и во времени. Эти законы соответствуют характеру специальной теории относительности, так как они инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца. Позднее общая теория относительности сформулировала законы тяготения. Они опять-таки являются структурными законами, описывающими поле тяготения между материальными частицами. Точно так же легко было обобщать уравнения Максвелла так, чтобы их можно было применить в любой системе координат, аналогично законам тяготения общей теории относительности.

Мы имеем две реальности: вещество и поле. Несомненно, что в настоящее время мы не можем представить себе всю физику построенной на понятии вещества, как это делали физики в начале девятнадцатого столетия. В настоящее время мы принимаем оба понятия. Можем ли мы считать вещество и поле двумя различными, несходными реальностями? Пусть дана маленькая частица вещества; мы могли бы наивно представить себе, что имеется определенная поверхность частицы, за пределами которой ее уже нет, а появляется ее поле тяготения. В нашей картине область, в которой справедливы законы поля, резко отделена от области, в которой находится вещество. Но что является физическим критерием, различающим вещество и поле? Раньше, когда мы не знали теории относительности, мы пытались бы ответить на этот вопрос следующим образом: вещество имеет массу, в то время как поле ее не имеет. Поле представляет энергию, вещество представляет массу. Но мы уже знаем, что такой ответ в свете новых знаний недостаточен. Из теории относительности мы знаем, что вещество представляет собой огромные запасы энергии и что энергия представляет вещество. Мы не можем таким путем провести качественное различие между веществом и полем, так как различие между массой и энергией не качественное. Гораздо большая часть энергии сосредоточена в веществе, но поле, окружающее частицу, также представляет собой энергию, хотя и в несравненно меньшем количестве. Поэтому мы могли бы сказать: вещество — там, где концентрация энергии велика, поле — там, где концентрация энергии мала. Но если это так, то различие между веществом и полем скорее количественное, чем качественное. Нет смысла рассматривать вещество и поле как два качества, совершенно отлич-

ные друг от друга. Мы не можем представить себе определенную поверхность, ясно разделяющую поле и вещество.

Те же трудности вырастают для заряда и его поля. Кажется невозможным дать ясный качественный критерий для различения между веществом и полем или зарядом и полем.

Структурные законы, то есть законы Максвелла и гравитационные законы, нарушаются для очень большой концентрации энергии или, как мы можем сказать, они нарушаются там, где присутствуют источники поля, т. е. электрические заряды или вещество. Но не можем ли мы слегка модифицировать наши уравнения так, чтобы они были справедливы всюду, даже в областях, где энергия колоссально сконцентрирована?

Мы не можем построить физику на основе только одного понятия — вещества. Но деление на вещество и поле, после признания эквивалентности массы и энергии, есть нечто искусственное и неясно определенное. Не можем ли мы отказаться от понятия вещества и построить чистую физику поля? То, что действует на наши чувства в виде вещества, есть на деле огромная концентрация энергии в сравнительно малом пространстве. Мы могли бы рассматривать вещество как такие области в пространстве, где поле чрезвычайно сильно. Таким путем можно было бы создать основы новой философии. Ее конечная цель состояла бы в объяснении всех событий в природе структурными законами, справедливыми всегда и всюду. С этой точки зрения брошенный камень есть изменяющееся поле, в котором состояния наибольшей интенсивности поля перемещаются в пространстве со скоростью камня. В нашей новой физике не было бы места и для поля, и для вещества, поскольку единственной реальностью было бы поле. Этот новый взгляд внушен огромными достижениями физики поля, успехом в выражении законов электричества, магнетизма, тяготения в форме структурных законов и, наконец, эквивалентностью массы и энергии. Нашей основной задачей было бы модифицировать законы поля таким образом, чтобы они не нарушались для областей, в которых энергия имеет колоссальную концентрацию.

Но до сих пор мы не имели успеха в последовательном и убедительном выполнении этой программы. Заключение о том, возможно ли ее выполнить, — принадлежит будущему. В настоящее время во всех наших реальных теоретических построениях мы все еще должны допускать две реальности — поле и вещество.

Фундаментальные проблемы еще стоят перед нами. Мы знаем, что все вещество состоит лишь из частиц немногих видов. Как различные формы вещества построены на этих элементарных частицах? Как эти элементарные частицы взаимодействуют с полем? Поиски ответа на эти вопросы привели к новым идеям в физике, идеям квантовой теории.

Подведем итоги:

В физике появилось новое понятие, самое важное достижение со времени Ньютона: поле. Потребовалось большое научное воображение, чтобы уяснить себе, что не заряды и не частицы, а поле в пространстве между зарядами и частицами существенно для описания физических явлений. Понятие поля оказывается весьма удачным и приводит к формулированию уравнений Максвелла, описывающих структуру электромагнитного поля, управляющих электрическими, равно как и оптическими явлениями.

Теория относительности возникает из проблемы поля. Противоречия и непоследовательность старых теорий вынуждают нас приписывать новые свойства пространственно-временному континууму, этой арене, на которой разыгрываются все события нашего физического мира.

Теория относительности развивается двумя этапами. Первый этап приводит к так называемой специальной теории относительности, применяемой только к инерциальным системам координат, т. е. к системам, в которых справедлив закон инерции, как он был сформулирован Ньютоном. Специальная теория относительности основывается на двух фундаментальных положениях: физические законы одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга; скорость света всегда имеет одно и то же значение. Из этих положений, полностью подтвержденных экспериментом, выведены свойства движущихся стержней и часов, изменения их длины и ритма, зависящие от скорости. Теория относительности изменяет законы механики. Старые законы несправедливы, если скорость движущейся частицы приближается к скорости света. Новые законы движения тела, сформулированные теорией относительности, блестяще подтверждаются экспериментом. Дальнейшее следствие теории относительности (специальной) есть связь между массой и энергией. Масса — это энергия, а энергия имеет массу. Оба закона сохранения — закон сохранения массы и закон сохранения энергии — объединяются теорией относительности в один закон, в закон сохранения массы — энергии.

Общая теория относительности дает еще более глубокий анализ пространственно-временного континуума. Справедливость теории относительности больше не ограничивается инерциальными системами координат. Теория берется за проблему тяготения и формулирует новые структурные законы для поля тяготения. Она заставляет нас проанализировать роль, которую играет геометрия в описании физического мира. Эквивалентность тяжелой и инертной масс она рассматривает как существенный, а не просто слу-

чайный факт, каким она была в классической механике. Экспериментальные следствия общей теории относительности лишь слегка отличаются от следствий классической механики. Они выдерживают экспериментальную проверку всюду, где возможно сравнение. Но сила теории заключается в ее внутренней согласованности и простоте ее основных положений.

Теория относительности подчеркивает важность понятия поля в физике. Но нам еще не удалось сформулировать чистую физику поля. В настоящее время мы должны еще предполагать существование и поля, и вещества.

Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики: Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности. — М., 1965. — С. 147 — 203.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ. ЧАСТЬ И ЦЕЛОЕ

ИСТОРИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Возникновение квантовой теории связано с известным явлением, которое вовсе не принадлежит к центральным разделам атомной физики. Любой кусок вещества, будучи нагрет, начинает светиться и при повышении температуры становится красным, а затем — белым. Цвет почти не зависит от вещества и для черного тела определяется исключительно температурой. Поэтому излучение, производимое таким черным телом при высокой температуре, является интересным объектом для физического исследования. Поскольку речь идет о простом явлении, то для него должно быть дано и простое объяснение на основе известных законов излучения и теплоты. Попытка такого объяснения, предпринятая Рэлеем и Джинсом в конце XIX века, столкнулась с весьма серьезными затруднениями. К сожалению, эти трудности нельзя объяснить с помощью простых понятий. Вполне достаточно сказать, что последовательное применение известных в то время законов природы не привело к удовлетворительным результатам.

Когда научные занятия привели Планка в 1895 году в эту область исследований, он попытался на первый план выдвинуть не проблему излучения, а проблему излучающего атома. Хотя поворот в сторону излучающего атома и не устранил серьезных трудностей, однако благодаря этому стали проще их интерпретация и объяснение эмпирических результатов. Как раз в это время, летом 1900 года, Курльбаум и Рубенс произвели новые чрезвычайно точные измерения спектра теплового излучения. Когда Планк узнал об этих измерениях, он попытался выразить их с помощью несложных математических формул, которые на основании его исследований взаимосвязи теплоты и излучения представлялись ему правдоподобными. Однажды Планк и Рубенс встретились за чаем в доме Планка и сравнили эти результаты Рубенса с формулой, которую предложил Планк для объяснения результатов измерений Рубенса. Сравнение показало полное соответствие. Таким образом был открыт закон теплового излучения Планка.

Для Планка это открытие было только началом интенсивных теоретических исследований. Стоял вопрос: какова правильная физическая интерпретация новой формулы? Так как Планк на основании своих более ранних работ легко мог истолковать эту формулу как утверждение об излучающем атоме (так называемом осцилляторе), он вскоре понял, что его формула имеет такой вид, как если бы осциллятор изменял свою энергию не непрерывно, а лишь отдельными квантами и если бы он мог находиться только в определенных состояниях или, как говорят физики, в дискретных состояниях энергии. Этот результат так отличался от всего, что знали в классической физике, что вначале Планк, по-видимому, отказывался в него верить. Но в период наиболее интенсивной работы, осенью 1900 года, он наконец пришел к убеждению, что уйти от этого вывода невозможно. Как утверждает сын Планка, его отец рассказывал ему, тогда еще ребенку, о своих новых идеях во время долгих прогулок по Грюневальду. Он объяснял, что чувствует — либо он сделал открытие первого ранга, быть может, сравнимое только с открытием Ньютона, либо он полностью ошибается. В это же время Планку стало ясно, что его формула затрагивает самые основы описания природы, что эти основы претерпят серьезное изменение и изменят свою традиционную форму на совершенно неизвестную. Планк, будучи консервативным по своим взглядам, вовсе не был обрадован этими выводами. Однако в декабре 1900 года он опубликовал свою квантовую гипотезу.

Мысль о том, что энергия может испускаться и поглощаться лишь дискретными квантами энергии, была столь новой, что она выходила за традиционные рамки физики. Оказалось напрасной в существенных чертах попытка Планка примирить новую гипотезу со старыми представлениями об излучении. Прошло около пяти лет, прежде чем в этом направлении был сделан следующий шаг.

На этот раз именно молодой Альберт Эйнштейн, революционный гений среди физиков, не побоялся отойти еще дальше от старых понятий. Эйнштейн нашел две новые проблемы, в которых он успешно применил представления Планка. Первой проблемой была проблема фотоэлектрического эффекта: выбивание из металла электронов под действием света. Опыты, особенно точно произведенные Ленардом, показали, что энергия испускаемых электронов зависит не от интенсивности света, а только от цвета или, точнее говоря, от частоты, или длины волны света. На базе прежней теории излучения это объяснить было нельзя. Однако Эйнштейн объяснил данные наблюдений, опираясь на гипотезу Планка, которую он интерпретировал с помощью предположения, что свет состоит из так называемых световых квантов, то есть из квантов энергии, которые движутся в пространстве подобно маленьким корпускулам. Энергия отдельного светового кван-

та, в согласии с гипотезой Планка, должна равняться частоте света, помноженной на постоянную Планка.

Другой проблемой была проблема удельной теплоемкости твердых тел. Существовавшая теория удельной теплоемкости приводила к величинам, которые хорошо согласовывались с экспериментом в области высоких температур, но при низких температурах были много выше наблюдаемых величин. Эйнштейн снова сумел показать, что подобное поведение твердых тел можно понять благодаря квантовой гипотезе Планка, применяя ее к упругим колебаниям атомов в твердом теле. Эти два результата были большим шагом вперед на пути дальнейшего развития новой теории в силу того, что они обнаружили планковскую постоянную действия в различных областях, непосредственно не связанных с проблемой теплового излучения. Эти результаты выявили и глубоко революционный характер новой гипотезы, ибо трактовка Эйнштейном квантовой теории привела к такому объяснению природы света, которое полностью отличалось от привычного со времени Гюйгенса объяснения на основе волнового представления. Следовательно, свет может быть объяснен или как распространение электромагнитных волн — факт, который принимали на основе работ Максвелла и опытов Герца, — или как нечто, состоящее из отдельных «световых квантов», или «энергетических пакетов», которые с большой скоростью движутся в пространстве. А может ли свет быть и тем и другим? Эйнштейн, конечно, знал, что известные опыты по дифракции и интерференции могут быть объяснены только на основе волновых представлений. Он также не мог оспаривать наличие полного противоречия между своей гипотезой световых квантов и волновыми представлениями. Эйнштейн даже не пытался устранить внутренние противоречия своей интерпретации. Он принял противоречия как нечто такое, что, вероятно, может быть понято много позднее благодаря совершенно новому методу мышления.

Тем временем эксперименты Беккереля, Кюри и Резерфорда привели к несколько большей ясности в отношении строения атома. В 1911 году Резерфорд на основании наблюдений прохождения α -лучей через вещество предложил свою знаменитую модель атома. Атом состоит из атомного ядра, положительно заряженного и содержащего почти всю массу атома, и электронов, которые движутся вокруг ядра, подобно тому как планеты движутся вокруг Солнца. Химическая связь между атомами различных элементов объясняется взаимодействием между внешними электронами соседних атомов. Химическая связь непосредственно не имеет отношения к ядру. Атомное ядро определяет химические свойства атома лишь косвенно через свой электрический заряд, так как последний определяет число электронов в нейтральном атоме. Эта модель, правда, не могла объяснить одну из

самых характерных черт атома, а именно его удивительную устойчивость. Никакая планетная система, которая подчиняется законам механики Ньютона, никогда после столкновения с другой подобной системой не возвратится в свое исходное состояние. В то время как, например, атом углерода остается атомом углерода и после столкновения с другими атомами или после того, как он, вступив во взаимодействие с другими атомами, образовал химическое соединение.

Объяснение этой необычной устойчивости было дано в 1913 году Нильсом Бором путем применения квантовой гипотезы Планка к модели атома Резерфорда. Если атом может изменять свою энергию только прерывно, то это должно означать, что атом существует лишь в дискретных стационарных состояниях, низшее из которых есть нормальное состояние атома. Поэтому после любого взаимодействия атом в конечном счете всегда возвращается в это нормальное состояние.

Бор, применяя квантовую теорию к модели атома, сумел не только объяснить устойчивость атома, но в некоторых простых случаях сумел также дать теоретическое объяснение линейных спектров, образующихся при возбуждении атомов посредством электрического разряда или теплоты. Его теория при описании движения электронов покоилась на соединении классической механики и квантовых условий, которые налагаются на классические законы движения для выделения дискретных стационарных состояний среди других состояний. Позднее Зоммерфельд дал точную математическую формулировку этих условий. Бору было ясно, что квантовые условия в известном смысле разрушают внутреннюю прочность ньютоновской механики. В простейшем случае атома водорода на основании теории Бора можно рассчитать частоту излучаемого света, и согласие теоретических расчетов с наблюдениями оказывалось полным. В действительности эти частоты отличались от орбитальных частот электронов и высших гармоник этих частот, и это обстоятельство сразу показало, что теория еще полна противоречий. Несмотря на это, она, по всей вероятности, содержала большую долю истины. Она качественно объяснила химические свойства атомов и их линейные спектры. Существование дискретных стационарных состояний было непосредственно подтверждено и опытами: в экспериментах Франка и Герца, Штерна и Герлаха.

Таким образом, теория Бора открыла новую область исследований. Большое количество экспериментального материала, полученного спектроскопией в течение нескольких десятилетий, теперь при изучении квантовых законов движения электронов стало источником информации. Для той же самой цели могли быть использованы многие эксперименты химиков. Имея дело с этим экспериментальным материалом, физики постепенно научились ста-

вить правильные вопросы. А ведь часто правильно поставленный вопрос означает больше, чем наполовину решение проблемы. Каковы эти вопросы? Практически почти все они имели дело с явными и удивительными противоречиями в результатах различных опытов. Как может быть, что одно и то же излучение, которое образует интерференционную картину и доказывает тем самым существование лежащего в основе волнового движения, производит одновременно и фотоэлектрический эффект и потому должно состоять из движущихся световых квантов? Как может быть, что частота орбитального движения электронов в атоме не является также и частотой испускаемого излучения? Разве не означает это, что нет никакого орбитального движения? Но если представление об орбитальном движении неверно, то что в таком случае происходит с электроном внутри атома? Можно видеть те электроны, которые движутся в камере Вильсона; некоторые из них до этого являлись составной частью атома и были выбиты из атома. Почему, следовательно, внутри атома они не двигаются таким же образом? Можно было бы, пожалуй, представить себе, что в нормальном состоянии атома электроны покоятся. Но ведь имеются состояния с более высокими энергиями, в которых электроны обладают вращательным моментом, и поэтому в этих состояниях абсолютно исключено состояние покоя электронов. Можно перечислить много подобных примеров. Все отчетливее стали понимать, что попытка описать атомные процессы в понятиях обычной физики приводит к противоречиям. К началу 20-х годов (XX в. — А. Г.) физики постепенно освоились с этими трудностями. У них выработалась своего рода интуиция, правда не очень ясная, в отношении того, где, по всей вероятности, будут иметь место затруднения, и они научились избегать эти затруднения. Наконец, они узнали, какое в данном опыте описание атомных процессов приведет к правильному результату. Этого знания было недостаточно для того, чтобы дать общую непротиворечивую картину квантовых процессов, но оно так изменило мышление физиков, что они в некоторой степени прониклись духом квантовой теории.

Уже в течение некоторого времени до того, как была дана строгая формулировка квантовой теории, знали более или менее точно, каков будет результат того или иного эксперимента.

Часто обсуждали так называемые «мысленные эксперименты». Такие эксперименты изобретали для того, чтобы выяснить какой-либо особенно важный вопрос, вне зависимости от того, может ли быть проведен фактически этот эксперимент или нет. Конечно, важно было, чтобы эксперимент мог быть осуществим в принципе — при этом экспериментальная техника могла быть любой сложности. Эти мысленные эксперименты оказались чрезвычайно полезными при выяснении некоторых проблем. Там, где в отно-

шении вероятного результата такого эксперимента невозможно было добиться согласия между физиками, часто удавалось придумать подобный, но более простой эксперимент, который фактически можно было выполнить; экспериментальный результат значительно содействовал разъяснению квантовой теории.

Удивительнейшим событием тех лет был тот факт, что по мере этого разъяснения парадоксы квантовой теории не исчезали, а, наоборот, выступали во все более явной форме и приобретали все большую остроту. Например, в то время был произведен опыт Комптона по рассеянию рентгеновских лучей. На основании прежних опытов по интерференции рассеянного света было совершенно очевидным, что рассеяние происходит в основном следующим образом: падающая световая волна выбивает из пучка электрон, колеблющийся с той же самой частотой; затем колеблющийся электрон испускает сферическую волну с частотой падающей волны и вызывает тем самым рассеянный свет. Однако в 1923 году Комптон обнаружил, что частота рассеянных рентгеновских лучей отличается от частоты падающих лучей. Это изменение частоты можно объяснить, предполагая, что рассеяние представляет собой столкновение кванта света с электроном. При ударе энергия светового кванта изменяется, а так как произведение частоты на постоянную Планка равняется энергии кванта света, частота также должна измениться. Но как в этом случае объяснить световые волны? Оба эксперимента — один по интерференции рассеянного света, другой по изменению частоты рассеянного света — настолько противоречат друг другу, что, по видимому, выход найти невозможно.

В это время многие физики были уже убеждены в том, что эти явные противоречия принадлежат к внутренней природе атомной физики. Поэтому де Бройль во Франции в 1924 году попытался распространить дуализм волнового и корпускулярного описания и на элементарные частицы материи, в частности на электроны. Он показал, что движению электрона может соответствовать некая волна материи, так же как движению светового кванта соответствует световая волна. Конечно, в то время не было ясно, что означает в этой связи слово «соответствовать». Де Бройль предложил объяснить условия квантовой теории Бора с помощью представления о волнах материи. Волна, движущаяся вокруг ядра атома, по геометрическим соображениям может быть только стационарной волной; длина орбиты должна быть кратной целому числу длин волн. Тем самым де Бройль предложил перекинуть мост от квантовых условий, которые оставались чуждым элементом в механике электронов, к дуализму волн и частиц.

Таким образом, в теории Бора различие между вычисленной орбитальной частотой электрона и частотой излучения показывало ограниченность понятия «электронная орбита». Ведь с самого

начала это понятие вызывало большие сомнения. С другой стороны, в случае сильно возбужденных состояний, в которых электроны двигаются на большом расстоянии от ядра, нужно согласиться с тем, что электроны двигаются так же, как они двигаются, когда их видят в камере Вильсона. Следовательно, в этом случае можно употреблять понятие «электронная орбита». В силу этого представляется весьма удовлетворительным тот факт, что именно для сильно возбужденных состояний частота излучения приближается к орбитальной частоте (точнее говоря, к орбитальной частоте и высшим гармоническим составляющим этой частоты). Бор уже в одной из своих первых работ утверждал, что интенсивность спектральных линий излучения приблизительно должна согласовываться с интенсивностью соответствующих гармонических составляющих. Этот так называемый принцип соответствия оказался весьма полезным для приближенного расчета интенсивности спектральных линий. Таким образом, создалось впечатление, что теория Бора дает качественную, а не количественную картину того, что происходит внутри атома, и что по меньшей мере некоторые новые черты в поведении материи качественно могут быть выражены с помощью квантовых условий, которые со своей стороны как-то связаны с дуализмом волн и частиц.

Точная математическая формулировка квантовой теории сложилась в конечном счете в процессе развития двух различных направлений. Одно направление было связано с принципом соответствия Бора. На этом направлении нужно было прежде всего отказаться от понятия «электронная орбита» и использовать его лишь приближенно в предельном случае больших квантовых чисел, то есть больших орбит. В этом последнем случае частота и интенсивность излучения некоторым образом соответствуют электронной орбите. Излучение соответствует тому, что математики называют «фурье-представлением» орбиты электрона. Таким образом, вполне логична мысль, что механические законы следует записывать не как уравнения для координат и скоростей электронов, а как уравнения для частот и амплитуд их разложения Фурье. Исходя из таких представлений, возникает возможность перейти к математически представляемым отношениям для величин, которые соответствуют частоте и интенсивности излучения. Эта программа действительно могла быть осуществлена. Летом 1925 года она привела к математическому формализму, который был назван «матричной механикой», или, вообще говоря, квантовой механикой. Уравнения движения механики Ньютона были заменены подобными уравнениями для линейных алгебраических форм, которые в математике называются матрицами. Весьма удивительно, что многие из старых результатов механики Ньютона, как, например, сохранение энергии, остались и в новом формализме. Позднее исследования Борна, Йордана и Дирака показали, что

матрицы, представляющие координаты и импульс электрона, не коммутируют друг с другом. На языке математики этот факт указывал на самое сильное из существенных различий между квантовой механикой и классической механикой.

Другое направление исходило из идей де Бройля о волнах материи. Шредингер попытался записать волновое уравнение для стационарных волн де Бройля, окружающих атомное ядро. В начале 1926 года ему удалось вывести значения энергии для стационарных состояний атома водорода в качестве собственных значений своего волнового уравнения, и он сумел дать общее правило преобразования данных классических уравнений в соответствующие волновые уравнения, которые, правда, относятся к некоторому абстрактному математическому пространству, именно многомерному конфигурационному пространству. Позднее он показал, что его волновая механика математически эквивалентна более раннему формализму квантовой или матричной механики. Таким образом, мы получили наконец непротиворечивый математический формализм, который можно выразить двумя равноправными способами: или с помощью матричных соотношений, или с помощью волновых уравнений. Этот математический формализм дал верные значения энергии для атома водорода. Понадобилось меньше года, чтобы обнаружить, что верные результаты получаются и для атома гелия и в более сложном случае — для тяжелых атомов. Однако, собственно, в каком смысле новый формализм описывает атомные явления? Ведь парадоксы только содержались в скрытом виде в математической схеме.

В направлении действительного понимания квантовой теории первый и очень интересный шаг уже в 1924 году был сделан Бором, Крамерсом и Слэтером. Они попытались устранить кажущееся противоречие между волновой и корпускулярной картинами с помощью понятия волны вероятности. Электромагнитные световые волны толковались не как реальные волны, а как волны вероятности, интенсивность которых в каждой точке определяет, с какой вероятностью в данном месте может излучаться и поглощаться атомом квант света. Это представление вело к заключению, что, по-видимому, законы сохранения энергии и динамических переменных в каждом отдельном случае могут не выполняться и речь идет, следовательно, о статистических законах; так что энергия сохраняется только в статистическом среднем. В действительности этот вывод был неверен, а взаимосвязь волновой и корпускулярной картин излучения позднее оказалась еще более сложной.

Однако работа Бора, Крамера и Слэтера содержала уже существенную черту верной интерпретации квантовой теории. С введением волны вероятности в теоретическую физику было введено совершенно новое понятие. В математике или статистической ме-

ханике волна вероятности означает суждение о степени нашего знания фактической ситуации. Бросая кость, мы не можем проследить детали движения руки, определяющие выпадение кости, и поэтому говорим, что вероятность выпадения отдельного номера равна одной шестой, поскольку кость имеет шесть граней. Но волна вероятности, по Бору, Крамерсу и Слэтеру, была чем-то гораздо большим. Она означала нечто подобное стремлению к определенному протеканию событий. Она означала количественное выражение старого понятия «потенция» аристотелевской философии. Она ввела странный вид физической реальности, который находится приблизительно посередине между возможностью и действительностью.

Позднее, когда было закончено математическое оформление квантовой теории, Бор использовал эту идею волны вероятности и дал на языке формализма ясное определение математической величины, которую можно интерпретировать как волну вероятности. Волна вероятности являлась не трехмерной волной типа радиоволн или упругих волн, а волной в многомерном конфигурационном пространстве. Эта абстрактная математическая величина стала известной благодаря исследованиям Шредингера.

Даже в это время, летом 1926 года, еще не в каждом случае было ясно, как следует использовать математический формализм, чтобы дать описание данной экспериментальной ситуации. Правда, тогда уже знали, как описывать стационарные состояния, но не было еще известно, как объяснить гораздо более простые явления, например, движение электрона в камере Вильсона.

Когда летом 1926 года Шредингер показал, что формализм его волновой механики математически эквивалентен квантовой механике, он в течение некоторого времени совсем отказывался от представления о квантах и квантовых скачках и пытался заменить электроны в атоме трехмерными волнами материи. Поводом к такой попытке было то, что, по его теории, уровни энергии атома водорода являются собственными частотами некоторых стационарных волн. Поэтому Шредингер полагал, что будет ошибкой считать их значениями энергии; они являются частотами, а вовсе не энергией. Однако во время дискуссии, которая происходила в Копенгагене осенью 1926 года между Бором и Шредингером и копенгагенской группой физиков, стало очевидным, что такая интерпретация недостаточна даже для объяснения планковского закона теплового излучения.

В течение нескольких месяцев, последовавших за этой дискуссией, интенсивное изучение в Копенгагене всех вопросов, связанных с интерпретацией квантовой теории, привело наконец к законченному и, как считают многие физики, удовлетворительному объяснению всей ситуации. Однако оно не было тем объяснением, которое можно было легко принять. Я вспоминаю мно-

гие дискуссии с Бором, длившиеся до ночи и приводившие нас почти в отчаяние. И когда я после таких обсуждений предпринимал прогулку в соседний парк, передо мной снова и снова возникал вопрос, действительно ли природа может быть такой абсурдной, какой она предстает перед нами в этих атомных экспериментах.

Окончательное решение пришло с двух сторон. Один из путей сводился к переформулировке вопроса. Вместо того чтобы спрашивать, как можно данную экспериментальную ситуацию описывать с помощью известной математической схемы, ставится другой вопрос: верно ли, что в природе встречается только такая экспериментальная ситуация, которая выражается в математическом формализме квантовой теории? Предположение, что это верная постановка вопроса, вело к ограничению применения понятий, со времени Ньютона составлявших основу классической физики. Правда, можно было говорить, как в механике Ньютона, о координате и скорости электрона. Эти величины можно и наблюдать и измерять. Но нельзя обе эти величины одновременно измерять с любой точностью. Оказалось, что произведение этих обеих неопределенностей не может быть меньше постоянной Планка (деленной на массу частицы, о которой в данном случае шла речь).

Подобные соотношения могут быть сформулированы для других экспериментальных ситуаций. Они называются соотношением неточностей, или принципом неопределенности. Тем самым было установлено, что старые понятия не совсем точно удовлетворяют природе.

Другой путь был связан с понятием дополненности Бора. Шредингер описывал атом как систему, которая состоит не из ядра и электронов, а из атомного ядра и материальных волн.

Несомненно, эта картина волн материи также содержит долю истины. Бор рассматривал обе картины — корпускулярную и волновую — как два дополнительных описания одной и той же реальности. Каждое из этих описаний может быть верным только отчасти. Нужно указать границы применения корпускулярной картины, так же как и применения волновой картины, ибо иначе нельзя избежать противоречий. Но если принять во внимание границы, обусловленные соотношением неопределенностей, то противоречия исчезают.

Таким образом, в начале 1927 года пришли, наконец, к непротиворечивой интерпретации квантовой теории, которую часто называют копенгагенской интерпретацией. Эта интерпретация выдержала испытание на Сольевевском конгрессе в Брюсселе осенью 1927 года. Те эксперименты, которые вели к досадным парадоксам, вновь дискутировались во всех подробностях, особенно Эйнштейном. Были найдены новые мысленные эксперименты с

целью обнаружить оставшиеся внутренние противоречия теории, однако теория оказалась свободной от них и, по-видимому, удовлетворяла всем экспериментам, которые были известны к тому времени.

Детали этой копенгагенской интерпретации составляют предмет следующей главы. Быть может, следует указать на тот факт, что потребовалось более четверти века на то, чтобы продвинуться от гипотезы Планка о существовании кванта действия до действительного понимания законов квантовой теории. Отсюда понятно, как велики должны быть изменения в наших основных представлениях о реальности, для того чтобы можно было окончательно понять новую ситуацию.

Гейзенберг В. Физика и философия // Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — С. 9—18.

Северо-Восточный
Федеральный Университет
им. М.К.Аммосова

ПОРЯДОК ИЗ ХАОСА: НОВЫЙ ДИАЛОГ ЧЕЛОВЕКА С ПРИРОДОЙ

ПРЕДИСЛОВИЕ К АНГЛИЙСКОМУ ИЗДАНИЮ

Наше видение природы претерпевает радикальные изменения в сторону множественности, темпоральности и сложности. Долгое время в западной науке доминировала механистическая картина мироздания. Ныне мы сознаем, что живем в плюралистическом мире. Существуют явления, которые представляются нам детерминированными и обратимыми. Таковы, например, движения маятника без трения или Земли вокруг Солнца. Но существуют также и необратимые процессы, которые как бы несут в себе стрелу времени. Например, если слить две такие жидкости, как спирт и вода, то из опыта известно, что со временем они перемешаются. Обратный процесс — спонтанное разделение смеси на чистую воду и чистый спирт — никогда не наблюдается. Следовательно, перемешивание спирта и воды — необратимый процесс. Вся химия, по существу, представляет собой нескончаемый перечень таких необратимых процессов.

Ясно, что помимо детерминированных процессов некоторые фундаментальные явления, такие, например, как биологическая эволюция или эволюция человеческих культур, должны содержать некий вероятностный элемент. Даже ученый, глубоко убежденный в правильности детерминистических описаний, вряд ли осмелится утверждать, что в момент Большого взрыва, т.е. возникновения известной нам Вселенной, дата выхода в свет нашей книги была начертана на скрижалях законов природы. Классическая физика рассматривала фундаментальные процессы как детерминированные и обратимые. Процессы, связанные со случайностью или необратимостью, считались досадными исключениями из общего правила. Ныне мы видим, сколь важную роль играют повсюду необратимые процессы и флуктуации.

Хотя западная наука послужила стимулом к необычайно плодотворному диалогу между человеком и природой, некоторые из последствий влияния естественных наук на общечеловеческую культуру далеко не всегда носили позитивный характер. Напри-

мер, противопоставление «двух культур» в значительной мере обусловлено конфликтом между вневременным подходом классической науки и ориентированным во времени подходом, доминировавшим в подавляющем большинстве социальных и гуманитарных наук. Но за последние десятилетия в естествознании произошли разительные перемены, столь же неожиданные, как рождение геометрии или грандиозная картина мироздания, нарисованная в «Математических началах натуральной философии» Ньютона. Мы все глубже осознаем, что на всех уровнях — от элементарных частиц до космологии — случайность и необратимость играют важную роль, значение которых возрастает по мере расширения наших знаний. *Наука вновь открывает для себя время.* Описанию этой концептуальной революции и посвящена наша книга.

Революция, о которой идет речь, происходит на всех уровнях: на уровне элементарных частиц, в космологии, на уровне так называемой макроскопической физики, охватывающей физику и химию атомов или молекул, рассматриваемых либо индивидуально, либо глобально, как это делается, например, при изучении жидкостей или газов. Возможно, что именно на макроскопическом уровне концептуальный переворот в естествознании прослеживается наиболее отчетливо. Классическая динамика и современная химия переживают в настоящее время период коренных перемен. Если бы несколько лет назад мы спросили физика, какие явления позволяет объяснить его наука и какие проблемы остаются открытыми, он, вероятно, ответил бы, что мы еще не достигли адекватного понимания элементарных частиц или космологической эволюции, но располагаем вполне удовлетворительными знаниями о процессах, протекающих в масштабах, промежуточных между субмикроскопическим и космологическим уровнями. Ныне меньшинство исследователей, к которому принадлежат авторы этой книги и которое с каждым днем все возрастает, не разделяют подобного оптимизма: мы лишь начинаем понимать уровень природы, на котором живем, и именно этому уровню в нашей книге уделено основное внимание.

Для правильной оценки происходящего ныне концептуального перевооружения физики необходимо рассмотреть этот процесс в надлежащей исторической перспективе. История науки — отнюдь не линейная развертка серии последовательных приближений к некоторой глубокой истине. История науки изобилует противоречиями, неожиданными поворотами. Значительную часть нашей книги мы посвятили схеме исторического развития западной науки, начиная с Ньютона, т. е. с событий трехсотлетней давности. Историю науки мы стремились вписать в историю мысли, с тем чтобы интегрировать ее с эволюцией западной культуры на протяжении последних трех столетий. Только так мы можем по

достоинству оценить неповторимость того момента, в который нам выпало жить.

В доставшемся нам научном наследии имеются два фундаментальных вопроса, на которые нашим предшественникам не удалось найти ответ. Один из них — вопрос об отношении хаоса и порядка. Знаменитый закон возрастания энтропии описывает мир как непрестанно эволюционирующий от порядка к хаосу. Вместе с тем, как показывает биологическая или социальная эволюция, сложное возникает из простого. Как такое может быть? Каким образом из хаоса может возникнуть структура? В ответе на этот вопрос ныне удалось продвинуться довольно далеко. Теперь нам известно, что неравновесность — поток вещества или энергии — может быть источником порядка.

Но существует и другой, еще более фундаментальный вопрос. Классическая или квантовая физика описывает мир как обратимый, статичный. В их описании нет места эволюции ни к порядку, ни к хаосу. Информация, извлекаемая из динамики, остается постоянной во времени. Налицо явное противоречие между статической картиной динамики и эволюционной парадигмой термодинамики. Что такое необратимость? Что такое энтропия? Вряд ли найдутся другие вопросы, которые бы столь часто обсуждались в ходе развития науки. Лишь теперь мы начинаем достигать той степени понимания и того уровня знаний, которые позволяют в той или иной мере ответить на эти вопросы. Порядок и хаос — сложные понятия. Единицы, используемые в статическом описании, которое дает динамика, отличаются от единиц, которые понадобились для создания эволюционной парадигмы, выражаемой ростом энтропии. Переход от одних единиц к другим приводит к новому понятию материи. Материя становится «активной»: она порождает необратимые процессы, а необратимые процессы организуют материю.

По традиции естественные науки имеют дело с общеутвердительными или общеотрицательными суждениями, а гуманитарные науки — с частноутвердительными или частноотрицательными суждениями. Конвергенция естественных и гуманитарных наук нашла свое отражение в названии французского варианта нашей книги «La Nouvelle Alliance» («Новый альянс»), выпущенной в 1970 г. в Париже издательством Галлимар. Однако нам не удалось найти подходящего английского эквивалента этого названия. Кроме того, текст английского варианта отличается от французского издания (особенно значительны расхождения в гл. 7—9). Хотя возникновение структур в результате неравновесных процессов было вполне адекватно изложено во французском издании (и последовавших затем переводах на другие языки), нам пришлось почти полностью написать заново третью часть, в которой речь идет о результатах наших последних исследований, о корнях понятия времени

и формулировке эволюционной парадигмы в рамках естественных наук.

Мы рассказываем о событиях недавнего прошлого. Концептуальное перевооружение физики еще далеко от своего завершения. Тем не менее мы считаем необходимым изложить ситуацию такой, как она представляется нам сейчас. Мы испытываем душевный подъем, ибо начинаем различать путь, ведущий от того, что уже стало, явилось, к тому, что еще только становится, возникает. Один из нас посвятил изучению проблемы такого перехода большую часть своей научной жизни и, выражая удовлетворение и радость по поводу эстетической привлекательности полученных результатов, надеется, что читатель поймет его чувства и разделит их. Слишком затянулся конфликт между тем, что считалось вечным, вневременным, и тем, что разворачивалось во времени. Мы знаем теперь, что существует более тонкая форма реальности, объемлющая и время, и вечность. <...>

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. — М., 1986. — С. 34—39.

КИБЕРНЕТИКА, ИЛИ УПРАВЛЕНИЕ И СВЯЗЬ В ЖИВОТНОМ И МАШИНЕ

ВВЕДЕНИЕ

Эта книга представляет итог более чем десятилетних исследований, предпринятых совместно с д-ром Артуро Розенблютом, работавшим тогда в Гарвардской медицинской школе, а ныне перешедшим в Национальный институт кардиологии в Мексике. В то время д-р Розенблют, коллега и сотрудник покойного д-ра Уолтера Б. Кеннона, ежемесячно устраивал дискуссии о научном методе. В этих дискуссиях участвовали главным образом молодые ученые Гарвардской медицинской школы. Мы собирались на обед за круглым столом в Вендербилт-Холле. Беседа была живой и непринужденной. Здесь было неподходящее место для игры в амбицию, да это и не поощрялось. После обеда кто-нибудь из нашей группы или из гостей делал доклад на какую-либо научную тему, причем обычно в этих докладах вопросы методологии ставились на первое или хотя бы на почетное место. На докладчика обрушивалась резкая критика, благожелательная, но беспощадная. Она была великолепным лекарством от незрелых мыслей, недостаточной самокритичности, излишней самоуверенности и напыщенности. Кто не мог выдержать испытание, не возвращался в нашу среду; но многие из нас, бывших завсегдатаев этих встреч, чувствуют, что эти встречи были постоянным существенным вкладом в наше научное развитие.

На этих собраниях присутствовали не только врачи и ученые-медики. К постоянным и активным участникам наших споров принадлежал д-р Мануэль Сандоваль Вальярта, профессор физики Массачусетского технологического института, один из самых первых моих студентов в те годы, когда я пришел в МТИ после Первой мировой войны. Как и д-р Розенблют, д-р Вальярта был мексиканец. Он имел обыкновение приводить на эти встречи своих коллег по институту. На одну из встреч он привел и меня; так я встретился впервые с д-ром Розенблютом. Я давно интересовался методологией науки и в 1911—1913 гг. принимал участие в семинаре по этим вопросам, который вел Джасайя Ройс в Гарвард-

ском университете. Чувствовалось, что на подобных собраниях необходимо присутствие человека, способного критически рассматривать математические вопросы. Поэтому я был активным членом группы до того момента, пока д-р Розенблют не был вызван в Мексику в 1944 г. и пока общий беспорядок, связанный с войной, не положил конец этим собраниям.

В течение многих лет д-р Розенблют разделял со мной убеждение, что самыми плодотворными для развития наук являются области, оставленные в пренебрежении по той причине, что они были «ничьей территорией» между различными сложившимися науками. После Лейбница, быть может, уже не было человека, который бы полностью обнимал всю интеллектуальную жизнь своего времени. С той поры наука становится все более делом специалистов, области компетенции которых обнаруживают тенденцию ко все большему сужению. Сто лет тому назад хотя и не было таких ученых, как Лейбниц, но были такие, как Гаусс, Фарадей, Дарвин.

В настоящее же время лишь немногие ученые могут назвать себя математиками, или физиками, или биологами, не прибавляя к этому дальнейшего ограничения. Ученый становится теперь топологом, или акустиком, или специалистом по жесткокрылым. Он набит жаргоном своей специальной дисциплины и знает всю литературу по ней и все ее подразделы. Но всякий вопрос, сколько-нибудь выходящий за эти узкие пределы, такой ученый чаще всего будет рассматривать как нечто, относящееся к коллеге, который работает через три комнаты дальше по коридору. Более того, всякий интерес со своей стороны к подобному вопросу он будет считать совершенно непозволительным нарушением чужой тайны.

Специализация дисциплин все время возрастает и захватывает все новые области. В результате создается ситуация, похожая на ту, которая возникла, когда в Орегоне одновременно находились и поселенцы из Соединенных Штатов, и англичане, и мексиканцы, и русские, — сложный и запутанный клубок открытий, названий и законов. Ниже мы увидим, что существуют области научной работы, исследуемые с разных сторон чистой математикой, статистикой, электротехникой и нейрофизиологией. В этих областях каждое понятие получает особое название у каждой группы специалистов и многие важные исследования проделываются трижды или четырежды. В то же время другие важные исследования задерживаются из-за того, что в одной области не известны результаты, уже давно ставшие классическими в смежной области.

Именно такие пограничные области науки открывают перед надлежаще подготовленным исследователем богатейшие возможности. Но изучение таких областей представляет и наибольшие трудности для обычного метода массового наступления с разделением труда.

Если трудность физиологической проблемы по существу математическая, то десять несведущих в математике физиологов сделают не больше, чем один несведущий в математике физиолог. Очевидно также, что если физиолог, не знающий математики, работает вместе с математиком, не знающим физиологии, то физиолог не в состоянии изложить проблему в выражениях, понятных математику; математик, в свою очередь, не сможет дать совет в понятной для физиолога форме.

Д-р Розенблют всегда настойчиво утверждал, что действенное изучение этих белых пятен на карте науки может быть предпринято только коллективом ученых, каждый из которых, будучи специалистом в своей области, должен быть, однако, основательно знаком с областями науки своих коллег. При этом необходимо, чтобы все привыкли работать совместно, зная склад ума другого, оценивая значение новых идей коллеги прежде, чем эти идеи будут точно сформулированы. От математика не требуется умения провести физиологический эксперимент, но он должен уметь понимать такой эксперимент, уметь подвергнуть его критике и уметь предложить новый эксперимент. От физиолога не требуется умения доказать определенную математическую теорему, но физиолог должен быть в состоянии понять ее значение для физиологии и указать математику направление поисков. В течение многих лет мы мечтали об обществе независимых ученых, работающих вместе в одной из этих неисследованных областей науки, и не под началом какого-нибудь высокопоставленного администратора, а объединенных желанием, даже духовной необходимостью, понимать науку как нечто целое и передавать друг другу силу такого понимания.

Мы пришли к согласию по этим вопросам задолго до того, как выбрали область наших совместных исследований и наметили, какое каждый примет в них участие. На наш выбор существенно повлияла война. Я давно знал, что в случае войны мое участие в ней определялось бы в значительной степени двумя обстоятельствами: моим тесным контактом с программой создания вычислительных машин, проводимой д-ром Ванневаром Бушем, и моей совместной работой с д-ром Юк Винг Ли по синтезу электрических схем. Действительно, оба обстоятельства сыграли значительную роль. Летом 1940 г. я стал уделять много внимания разработке вычислительных машин для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Я давно интересовался этим, и у меня сложилось убеждение, что здесь, в отличие от обыкновенных дифференциальных уравнений, так хорошо решавшихся на дифференциальном анализаторе д-ра Буша, главной является проблема представления функций многих переменных. Я был убежден также, что процесс развертки, применяемый в телевидении, дает ответ на этот вопрос и что в действительности телевидение при-

несет технике больше пользы именно созданием таких новых процессов, чем само по себе, как особая отрасль.

Было ясно, что всякий процесс развертки должен значительно увеличить количество используемых данных по сравнению с тем, которое встречается в задачах, сводимых к обыкновенным дифференциальным уравнениям. Поэтому для получения приемлемых результатов в приемлемое время необходимо довести до максимума скорость элементарных процессов и добиться, чтобы течение этих процессов не прерывалось существенно более медленными шагами. Необходимо также повысить точность выполнения элементарных процессов настолько, чтобы их частное повторение не приводило к накоплению слишком большой ошибки. В результате были сформулированы следующие требования:

1. Центральные суммирующие и множительные устройства должны быть цифровыми, как в обычном арифмометре, а не основываться на измерении, как в дифференциальном анализаторе Буша.

2. Эти устройства, являющиеся по существу переключателями, должны состоять из электронных ламп, а не из зубчатых передач или электромеханических реле. Это необходимо, чтобы обеспечить достаточное быстроедействие.

3. В соответствии с принципами, принятыми для ряда существующих машин Белловских телефонных лабораторий, должна использоваться более экономическая двоичная, а не десятичная, система счисления.

4. Последовательность действий должна планироваться самой машиной так, чтобы человек не вмешивался в процесс решения задачи с момента введения исходных данных до снятия окончательных результатов. Все логические операции, необходимые для этого, должна выполнять сама машина.

5. Машина должна содержать устройство для запасаания данных. Это устройство должно быстро их записывать, надежно хранить до стирания, быстро считывать, быстро стирать их и немедленно подготавливаться к запасаанию нового материала.

Эти рекомендации вместе с предложениями по их реализации были направлены д-ру Ванневару Бушу для возможного применения их в случае войны. На той стадии подготовки к войне казалось, что они не столь важны, чтобы приступить к немедленной работе над ними. Тем не менее все эти рекомендации представляют собой идеи, положенные в основу современной сверхбыстрой вычислительной машины. Эти мысли почти носились тогда в воздухе, и я не хочу в данный момент заявлять какие-либо претензии на исключительный приоритет в их формулировке. Все же указанные рекомендации оказались полезными, и я надеюсь, что они имели некоторое влияние на популяризацию этого круга идей среди инженеров. Во всяком случае, как

мы увидим в основной части книги, такие идеи интересны в связи с изучением нервной системы.

Итак, эта работа была отложена. Хотя она и принесла некоторую пользу, но непосредственно она не привела д-ра Розенблюта и меня к каким-либо проектам. Наше действительное сотрудничество возникло в связи с другой задачей, также имевшей непосредственное отношение к последней войне. В начале войны господство Германии в воздухе и оборонительная позиция Англии сосредоточили внимание многих ученых на задаче усовершенствования зенитной артиллерии. Уже до войны стало ясно, что возрастающая скорость самолетов опрокинула классические методы управления огнем и что необходимо встроить в прибор управления огнем все вычислительные устройства, обеспечивающие расчеты для выстрела. Эти вычислительные устройства оказались очень сложными вследствие того обстоятельства, что, в отличие от других целей, самолет имеет скорость, сравнимую со скоростью зенитного снаряда. Поэтому необходимо стрелять не прямо в цель, а в некоторую точку, в которой согласно расчетам должны по прошествии некоторого времени встретиться самолет и снаряд. Следовательно, мы должны найти какой-нибудь метод предсказания будущего положения самолета.

Простейший метод — продолжить наблюдаемый курс самолета по прямой. Этот метод заслуживает серьезного внимания. Чем больше самолет кружит при полете, чем больше он делает виражей, тем меньше его эффективная скорость, тем меньше времени он имеет для выполнения боевого задания, тем дольше он остается в поражаемом пространстве. При прочих равных условиях самолет будет по возможности лететь по прямой. Однако после разрыва первого снаряда эти прочие условия уже не равны, и пилот, вероятно, начнет выполнять зигзагообразный полет, фигуры высшего пилотажа или другой противозенитный маневр.

Если бы этот маневр зависел только от пилота и задача пилота сводилась бы к разумному использованию своих шансов, такому, какое мы, например, ожидаем от хорошего игрока в покер, то к моменту разрыва снаряда пилот мог бы настолько изменить положение самолета, что шансы на удачное попадание стали бы пренебрежимо малы, если только не применять весьма неэкономного заградительного огня. Но пилот не имеет возможности неограниченного маневра. Во-первых, пилот находится в самолете, летящем с чрезвычайно большой скоростью, и всякое внезапное отклонение от курса создаст огромную нагрузку, при которой пилот может потерять сознание, а самолет — развалиться. Далее, управлять самолетом можно только посредством движения рулевых поверхностей, и для перехода в новый режим полета потребуется некоторое время.

Однако перевод рулевых поверхностей в новое положение изменит лишь ускорение самолета, и это изменение ускорения еще должно перейти в изменение скорости и затем в изменение положения, прежде чем оно даст эффект. Наконец, находясь в напряженных условиях боя, летчик едва ли будет способен к очень сложному и ничем не ограниченному сознательному поведению. Вероятнее всего, он будет просто выполнять ту программу действий, которой его ранее обучили.

Все это делало целесообразным разработку проблемы предсказания полета по кривой, независимо от того, насколько благоприятными окажутся результаты для действительного применения прибора управления огнем, использующего такие методы предсказания. Для предсказания будущей криволинейной траектории необходимо выполнить определенные операции над прошлыми наблюдениями траектории. Точный оператор предсказания вообще нельзя осуществить с помощью какой бы то ни было реальной аппаратуры. Но некоторые операторы дают известное приближение и притом допускают реализацию с помощью аппаратуры, которую мы можем построить. Я сказал профессору Мас-сачусетского технологического института Сэмьюэлу Колдуэллу, что следовало бы испытать эти операторы. Он немедленно предложил мне начать испытания, используя дифференциальный анализатор д-ра Буша как готовую модель требуемых приборов для управления огнем. Мы провели испытания и получили результаты, описанные в основной части книги. Во всяком случае, я оказался работающим над военным проектом, в котором г-н Джулиан Х. Бигелоу и я совместно проводили разработку теории предсказания и конструирование устройств, воплощающих ее результаты.

Таким образом, я во второй раз занялся изучением электромеханической системы, предназначенной узурпировать специфические функции человека: в первом случае речь шла о выполнении сложных вычислений, во втором — о предсказании будущего. При этом во втором случае мы не могли обойтись без исследования того, как выполняет некоторые функции человек. Правда, в ряде приборов управления огнем исходные данные для наводки поступают непосредственно с радиолокатора, но обычно огнем управляет живой, а не механический наводчик. Люди — вертикальный наводчик, горизонтальный наводчик или оба вместе — действуют в качестве неотъемлемой части системы управления огнем. Чтобы математически описать их участие в работе управляемой ими машины, необходимо знать их характеристики. Кроме того, их цель — самолет — также управляется человеком, и желательно знать рабочие характеристики такой цели.

Мы с Бигелоу пришли к заключению, что исключительно важным фактором в сознательной деятельности служит явление, ко-

торое в технике получило название обратной связи. Этот вопрос освещен мною весьма подробно в соответствующих главах книги. Здесь я отмечу только одно обстоятельство. Когда мы хотим, чтобы некоторое устройство выполняло заданное движение, разница между заданным и фактическим движением используется как новый входной сигнал, заставляющий регулируемую часть устройства двигаться так, чтобы фактическое движение устройства все более приближалось к заданному.

Например, в одном из типов корабельной рулевой машины поворот штурвала воздействует на L-образное колено, присоединенное к румпелю. Это колено так регулирует клапаны рулевой машины, чтобы румпель двигался в положение, при котором эти клапаны закрыты. Поэтому румпель поворачивается так, чтобы привести другой конец названного колена на серединную, нейтральную, линию, и тем самым угловое положение штурвала воспроизводится как угловое положение румпеля. Конечно, любое трение или другая задерживающая сила, тормозящая движение румпеля, будет увеличивать впуск пара в клапаны на одной стороне и уменьшать его на другой, чтобы увеличить вращающий момент, стремящийся привести румпель в требуемое положение. Таким образом, система с обратной связью стремится сделать работу рулевой машины относительно независимой от нагрузки.

Но при некоторых условиях, например при наличии задержки во времени и т. п., обратная связь, осуществляемая слишком резко, заставит руль пройти за требуемое положение, а затем обратная связь, действующая в другом направлении, вызовет еще большее отклонение руля от требуемого положения. В результате рулевой механизм будет испытывать сильные колебания, или рысканье, пока совсем не сломается. В таких книгах, как монография Маккола¹, можно найти весьма точное описание обратной связи, условий, при которых обратная связь оказывается применимой, а также условий, при которых она отказывает. Обратная связь — это явление, которое мы хорошо понимаем с количественной точки зрения.

Допустим теперь, что я поднимаю карандаш. Чтобы это сделать, я должен привести в движение определенные мышцы. Однако никто, за исключением специалистов-анатомов, не знает, какие это мышцы. Даже среди анатомов лишь немногие, да и вряд ли, сумеют поднять карандаш посредством сознательного акта последовательного сокращения отдельных мышц. Нами осознается лишь конечная цель — поднять карандаш. Когда мы решили это

¹ *McCull L. A Fundamental Theory of Servomechanisms, Van Nostrand. — New York, 1946 (русский перевод — Маккол Л. Б. Основы теории сервомеханизмов, ИЛ. — М., 1947. — Прим. ред.).*

сделать, наше движение совершается так, что, грубо говоря, степень, в которой карандаш еще не взят, на каждом этапе уменьшается. Все движение мы выполняем почти бессознательно.

Чтобы действие выполнялось таким способом, на каждом этапе движения в нервную систему должны сознательно или бессознательно подаваться сведения о том, насколько положение нашей руки отличается от положения, при котором мы возьмем карандаш. Если мы смотрим на карандаш, то эти сведения могут быть зрительными, хотя бы частично; но обычно они бывают кинестетическими, или, употребляя термин, который сейчас в ходу, проприоцептивными. Если проприоцептивные ощущения отсутствуют и мы не заменим их зрительными или какими-либо другими, то мы не сможем поднять карандаш — состояние, называемое атаксией. Атаксия этого типа обычна при той форме сифилиса центральной нервной системы, которая носит название спинной сухотки (*tabes dorsalis*). При ней кинестетические ощущения, передаваемые спинно-мозговыми нервами, более или менее утрачиваются.

Но чрезмерная обратная связь, очевидно, должна быть столь же серьезным препятствием для организованной деятельности, как и недостаточная обратная связь. Принимая во внимание эту возможность, мы с Бигелоу обратились к д-ру Розенблюту с одним специальным вопросом. Существует ли патологическое состояние, при котором больной, пытаясь выполнить сознательное действие, например поднять карандаш, проскакивает мимо цели и совершает не поддающиеся контролю колебания? Д-р Розенблют ответил, что такое состояние существует и хорошо известно. Называется оно интенционным тремором и часто связано с повреждением мозжечка.

Итак, мы нашли весьма существенное подтверждение нашей гипотезы относительно природы сознательной деятельности или, по крайней мере, некоторых видов этой деятельности. Следует отметить, что эта точка зрения идет значительно дальше обычной точки зрения, распространенной среди нейрофизиологов. Центральная нервная система уже не представляется автономным, независимым органом, получающим раздражения от органов чувств и передающим их в мышцы. Наоборот, некоторые характерные виды деятельности центральной нервной системы объяснимы только как круговые процессы, идущие от нервной системы в мышцы и снова возвращающиеся в нервную систему через органы чувств. При этом не важно, являются ли эти органы чувств проприоцепторами или внешними органами чувств. Нам казалось, что такой подход означает новый шаг в изучении того раздела нейрофизиологии, который затрагивает не только элементарные процессы в нервах и синапсах, но и деятельность нервной системы как единого целого.

Мы трое сочли необходимым написать и опубликовать статью, излагающую эту новую точку зрения¹. Как д-р Розенблют, так и я предвидели, что эта статья может быть только изложением программы большой экспериментальной работы. Мы решили, что если когда-нибудь нам удастся создать институт, занимающийся проблемами связей между разными науками, то эта тема была бы почти идеальным объектом для нашей деятельности.

Что касается техники связи, то для г-на Бигелов и для меня уже стало очевидным, что техника управления и техника связи неотделимы друг от друга и что они концентрируются не вокруг понятий электротехники, а вокруг более фундаментального понятия сообщения. При этом несущественно, передается ли сообщение посредством электрических, или механических, или нервных систем. Сообщение представляет собой дискретную или непрерывную последовательность измеримых событий, распределенных во времени, т. е. в точности то, что статистики называют временным рядом.

Предсказание будущего отрезка сообщения производится применением некоторого оператора к прошлому отрезку сообщения, независимо от того, реализуется ли этот оператор алгоритмом математических вычислений или электрическими и механическими устройствами. В связи с этим мы нашли, что идеальные предсказывающие устройства, которые мы сначала рассматривали, подвержены воздействию ошибок двух противоположных видов. Первоначально спроектированный нами предсказывающий прибор можно было сделать таким, чтобы он предугадывал весьма гладкую кривую с любой степенью точности. Однако повышение точности достигалось ценой повышения чувствительности прибора. Чем лучше был прибор для гладких сигналов, тем сильнее он приводился в колебания небольшими нарушениями гладкости и тем продолжительнее были такие колебания. Таким образом, хорошая экстраполяция гладкой кривой, по-видимому, требовала применения более точного и чувствительного прибора, чем наилучшее возможное предсказание негладкой кривой; в каждом отдельном случае выбор прибора зависел бы от статистической природы предсказываемого явления. Можно было думать, что эти два вида взаимозависимых ошибок имеют нечто общее с противоречивыми задачами измерения положения и количества движения, рассматриваемыми в квантовой механике Гейзенберга в соответствии с его принципом неопределенности.

После того как мы уяснили, что решение задачи оптимального предсказания можно получить, лишь обратившись к статистике предсказываемого временного ряда, было уже легко превратить то, что сперва представлялось трудностью для теории предсказания, в

¹ *Rosenblueth A., Wiener N., Bigelow J. Behavior, Purpose & Teleology // Philosophy of Science. — 1943. — № 10. — P. 18—24.*

эффективное средство решения задачи предсказания. Приняв определенную статистику для временного ряда, можно найти явное выражение для среднего квадрата ошибки предсказания при данном методе и на данное время вперед. А располагая таким выражением, мы можем свести задачу оптимального предсказания к нахождению определенного оператора, при котором становилась бы минимальной некоторая положительная величина, зависящая от этого оператора. Задачи на минимум такого типа решаются в хорошо развитой отрасли математики — вариационном исчислении, и эта отрасль имеет хорошо развитую методику. Благодаря этой методике мы оказались в состоянии получить в явном виде наилучшее решение задачи предсказания будущего отрезка временного ряда на основе его статистических свойств и, более того, найти физическую реализацию этого решения посредством реальных приборов.

Проделав это, мы увидели, что по крайней мере одна задача технического проектирования приняла совершенно новый вид. Ведь обычно техническое проектирование считается скорее искусством, чем наукой. Сведя задачу такого рода к разысканию определенного минимума, мы поставили дело проектирования на более научную основу. Нам пришла мысль, что перед нами не изолированный случай и что существует целая область инженерной работы, в которой аналогичные задачи проектирования можно решать методами вариационного исчисления.

Мы обратились к другим аналогичным задачам и решили их этими методами. В числе решенных задач была задача проектирования волновых фильтров. Часто бывает так, что передаваемое сообщение искажают посторонние помехи, так называемый шумовой фон. Тогда встает задача восстановления посланного сообщения из искаженного сообщения при помощи некоторого оператора. При этом может потребоваться восстановление посланного сообщения либо в первоначальном виде, либо с данным упреждением, либо с данным запаздыванием. Выбор оптимального оператора и прибора, его реализующего, определяется статистическими свойствами сообщения и шума, рассматриваемых по отдельности и совместно. Так, в проектировании волновых фильтров мы заменили старые методы, носившие эмпирический и довольно-таки случайный характер, методами, допускающими четкое научное обоснование.

Но тем самым мы сделали из проектирования систем связи статистическую науку, раздел статистической механики. И действительно, понятия статистической механики вторгаются во все отрасли науки уже более ста лет. Мы увидим далее, что эта преобладающая роль статистической механики в современной физике имеет самое существенное значение для понимания природы времени. В случае же техники связи значение статистического эле-

мента непосредственно очевидно. Передача информации возможна лишь как передача альтернатив. Если нужно передавать единственную возможность, то лучше всего, легче всего это сделать тем, что не посылать вообще никакого сообщения. Телефон и телеграф могут выполнять свои функции только в том случае, когда передаваемые ими сообщения непрерывно изменяются, причем эти изменения не определяются полностью прошлой частью сообщений. С другой стороны, эффективное проектирование телефона и телеграфа возможно только при том условии, что изменения передаваемых сообщений подчиняются каким-нибудь статистическим закономерностям.

Чтобы подойти к технике связи с этой стороны, нам пришлось разработать статистическую теорию количества информации. В этой теории за единицу количества информации принимается количество информации, передаваемое при одном выборе между равновероятными альтернативами. Такая мысль возникла почти одновременно у нескольких авторов, в том числе у статистика Р. А. Фишера, у д-ра Шеннона из Белловских телефонных лабораторий и у автора настоящей книги. При этом Фишер исходил из классической статистической теории, Шеннон — из проблемы кодирования информации, автор настоящей книги — из проблемы сообщения и шумов в электрических фильтрах. Следует, однако, отметить, что некоторые мои изыскания в этом направлении связаны с более ранней работой Колмогорова¹ в России, хотя значительная часть моей работы была сделана до того, как я обратился к трудам русской школы.

Понятие количества информации совершенно естественно связывается с классическим понятием статистической механики — понятием энтропии. Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия системы есть мера дезорганизованности системы; одно равно другому, взятому с обратным знаком. Эта точка зрения приводит нас к ряду рассуждений относительно второго закона термодинамики и к изучению возможности так называемых «демонов» Максвелла. Вопросы такого рода возникают совершенно независимо при изучении энзимов и других катализаторов, и их рассмотрение существенно для правильного понимания таких основных свойств живой материи, как обмен веществ и размножение. Третье фундаментальное свойство жизни — свойство раздражимости — относится к области теории связи и попадает в группу идей, которые мы только что разбирали².

¹ Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Известия АН СССР. — 1941. — № 5. — С. 3—14.

² Schrödinger Ervin. What is Life? Cambridge University Press, Cambridge, England, 1945 (русский перевод: Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? — М., 1947. — Прим. ред.).

Таким образом, четыре года назад группа ученых, объединившихся вокруг д-ра Розенблюта и меня, уже понимала принципиальное единство ряда задач, в центре которых находились вопросы связи, управления и статистической механики, и притом как в машине, так и в живой ткани. Но наша работа затруднялась отсутствием единства в литературе, где эти задачи трактовались, и отсутствием общей терминологии или хотя бы единого названия для этой области. После продолжительного обсуждения мы пришли к выводу, что вся существующая терминология так или иначе слишком однобока и не может способствовать в надлежащей степени развитию этой области. По примеру других ученых нам пришлось придумать хотя бы одно искусственное неогреческое выражение для устранения пробела. Было решено назвать всю теорию управления и связи в машинах и живых организмах кибернетикой, от греческого κυβερνήτης — «кормчий»¹. Выбирая этот термин, мы тем самым признавали, что первой значительной работой по механизмам с обратной связью была статья о регуляторах, опубликованная Кларком Максвеллом в 1868 г.², и что слово «governor», которым Максвелл обозначал регулятор, происходит от латинского искажения слова «κυβερνήτης». Мы хотели также отметить, что судовые рулевые машины были действительно одним из самых первых хорошо разработанных устройств с обратной связью³.

Несмотря на то что термин «кибернетика» появился только летом 1947 г., мы сочли удобным использовать его в ссылках, относящихся к более ранним периодам развития этой области науки. Приблизительно с 1942 г. развитие кибернетики происходило по нескольким направлениям. Сначала идеи совместной статьи Бигелов, Розенблюта и Винера были изложены д-ром Розенблютом на совещании, проведенном фондом Джосайи Мейси

¹ Собственно Винер употреблял это слово в латинизированной форме «cybernetics», т. е. «цибернетика». — *Прим. ред.*

² *Maxwell J. C. On Couvenors. — Proc. Roy. Soc. (London). — 1868. — 16. — P. 270—283* (русский перевод: *Максвелл Д. К. О регуляторах // Максвелл Д. К., Вышнеградский И. А., Стодол А. Теория автоматического регулирования. — М., 1949. — С. 9—29. — Прим. ред.*).

³ Как оказалось, слово «кибернетика» (κυβερνήτης) не является неологизмом. Оно встречается довольно часто у Платона, где обозначает искусство управлять кораблем, искусство кормчего, а в переносном смысле — искусство управления людьми. В 1834 г. знаменитый французский физик А. М. Ампер, занимавшийся также вопросами классификации наук, назвал, по примеру древних, кибернетикой (cybernétique) науку об управлении государством. В таком значении это слово вошло в ряд известных словарей XIX в. Ампер относил кибернетику вместе с «этнодией» (наукой о правах народов), дипломатией и «теорией власти» к политическим наукам, причем кибернетика и теория власти составляли у него «политику в собственном смысле слова» (см.: *Ampère A. M. Essai sur la philosophie des sciences. — 2nd patie. — Bachelier, Paris, 1843. — Chapitre IV. — § IV. — P. 140—142.* — *Прим. ред.*

в Нью-Йорке в 1942 г. Собрание было посвящено проблемам центрального торможения в нервной системе. На собрании присутствовал д-р Уоррен Мак-Каллох из Медицинской школы Иллинойского университета, уже давно поддерживавший связь с д-ром Розенблотом и со мною и интересовавшийся изучением организации коры головного мозга.

Примерно в это же время на сцену выступает фактор, который неоднократно появляется в истории кибернетики, — влияние математической логики. Если бы мне пришлось выбирать в анналах истории наук святого — покровителя кибернетики, то я выбрал бы Лейбница. Философия Лейбница концентрируется вокруг двух основных идей, тесно связанных между собой: идеи универсальной символики и идеи логического исчисления.

Из этих двух идей возникли современный математический анализ и современная символическая логика. И как в арифметическом исчислении была заложена возможность развития его механизации от абака и арифмометра до современных сверхбыстрых вычислительных машин, так в *calculus ratiocinator*¹ Лейбница содержится в зародыше *machina ratiatrix* — думающая машина. Сам Лейбниц, подобно своему предшественнику Паскалю, интересовался созданием вычислительных машин в металле. Поэтому совсем неудивительно, что тот же самый умственный толчок, который привел к развитию математической логики, одновременно привел к гипотетической или действительной механизации процессов мышления.

Всякое математическое доказательство, за которым мы можем следовать, выражимо конечным числом символов. Эти символы, правда, могут быть связаны с понятием бесконечности, но связь эта такова, что ее можно установить за конечное число шагов. Так, когда в случае математической индукции мы доказываем теорему, зависящую от параметра n , мы доказываем ее сначала для $n=0$ и затем устанавливаем, что случай, когда параметр имеет значение $n+1$, вытекает из случая, когда параметр имеет значение n . Тем самым мы убеждаемся в правильности теоремы для всех положительных значений параметра n . Более того, число правил действия в нашем дедуктивном механизме должно быть конечным, даже если оно кажется неограниченным из-за ссылки на понятие бесконечности. Ведь и само понятие бесконечности выражимо в конечных терминах. Короче говоря, как номиналистам (Гильберт), так и интуиционистам (Вейль) стало совершенно очевидно, что развитие той или иной математико-логической теории подчиняется ограничениям того же рода, что и работа вычислительной машины. Как мы увидим позже, можно даже интерпретировать с этой точки зрения парадоксы Кантора и Расселла.

¹ Исчисление умозаключений. — Прим. ред.

Я сам в прошлом ученик Расселла и многим обязан его влиянию. Д-р Шеннон взял как тему своей докторской диссертации в Массачусетском технологическом институте применение методов классической булевой алгебры классов к изучению переключаемых систем в электротехнике¹. Тьюринг был, пожалуй, первым среди ученых, исследовавших логические возможности машин с помощью мысленных экспериментов. Во время войны он работал для английского правительства в области электроники. В настоящее время он возглавляет программу по созданию вычислительных машин современного образца, принятую Национальной физической лабораторией в Теддингтоне.

Другим молодым ученым, перешедшим из математической логики в кибернетику, был Уолтер Питтс. Он был учеником Карнапа в Чикаго и был связан с проф. Рашевским и его школой биофизиков. Заметим попутно, что эта последняя группа сделала очень много для того, чтобы направить внимание ученых-математиков на возможности биологических наук. Правда, некоторым из нас кажется, что она находится под слишком большим влиянием задач об энергии и потенциалах и методов классической физики, чтобы наилучшим образом решать задачи по изучению систем, подобных нервной системе, которые весьма далеки от энергетической замкнутости.

Г-н Питтс весьма удачно попал под влияние Мак-Каллоха; они вместе начали работать над проблемами, связанными с соединением нервных волокон синапсами в системы, обладающие заданными общими свойствами. Независимо от Шеннона они использовали аппарат математической логики для решения проблем, являющихся прежде всего переключаемыми проблемами. Мак-Каллох и Питтс ввели принципы, остававшиеся в тени в ранней работе Шеннона, хотя и вытекающие, несомненно, из идей Тьюринга; использование времени как параметра, рассмотрение сетей, содержащих циклы, и рассмотрение синаптических и других задержек².

Летом 1943 г. я встретил д-ра Дж. Леттвина из Бостонской городской больницы, весьма интересовавшегося вопросами, связанными с нервными механизмами. Он был близким другом г-на Питтса и познакомил меня с его работой³. Он убедил Питтса приехать в Бостон и встретиться с д-ром Розенблютом и со мной. Мы

¹ Булева алгебра классов — логическое исчисление, названное по имени известного английского математика Джорджа Буля (1815—1864), который считается основателем математической логики. — *Прим. ред.*

² *Turing A. M.* On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem // *Proceedings London Mathematics Society.* — 1936. — Ser. 2. — № 42. — P. 230—265.

³ *McCulloch W. S., Pitts W.* A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. — 1943. — № 5. — P. 115—133.

с радостью пригласили его в нашу группу. Г-н Питтс перешел в Массачусетский технологический институт осенью 1943 г., чтобы работать вместе со мной и чтобы углубить свою математическую подготовку для исследований в этой науке — кибернетике, к тому времени уже родившейся, но еще не окрещенной.

Тем временем оказалось, что создание вычислительных машин имеет гораздо более важное значение для военных целей, чем предполагал ранее д-р Буш. Строительство новых машин развернулось в нескольких центрах, и притом в направлении, которое не очень отличалось от указанного в моем первом докладе. Гарвардский университет, испытательный полигон в Абердине и Пенсильванский университет уже построили вычислительные машины, а Институт высших исследований в Принстоне и Массачусетский технологический институт должны были к этому вскоре приступить. В программе строительства вычислительных машин наблюдался постепенный переход от механических систем к электрическим, от десятичной системы счисления к двоичной, от механического реле к электрическому, от ручного управления операциями к автоматическому управлению. Короче говоря, каждая новая машина все более и более походила на образец, описанный в том докладе, который я в свое время направил д-ру Бушу. Множество народа жадно интересовалось этими вопросами; у нас была возможность передавать свои идеи коллегам, в частности, д-ру Эйкену из Гарвардского университета, д-ру фон Нейману из Института высших исследований и д-ру Голдстайну, работавшему над машинами ЭНИАК¹ и ЭДВАК² в Пенсильванском университете. Везде нас внимательно выслушивали, и скоро словарь инженеров стал пестреть выражениями, употребляемыми нейробиологами и психологами.

На этой стадии работ д-р фон Нейман и я сочли необходимым провести объединенное совещание всех интересующихся тем, что мы сейчас называем кибернетикой. Такое совещание было организовано в Принстоне в конце зимы 1943 — 1944 гг. Присутствовали инженеры, и физиологи, и математики. Д-р Розенблют не мог

¹ ЭНИАК (ENIAC — Electronic Numerical Integrator and Automatic Calculator, т.е. «Электронный численный интегратор и автоматический вычислитель») — первая американская электронная вычислительная машина; строилась во время войны Пенсильванским университетом в Филадельфии для Управления вооружения армии США. Впервые публично продемонстрирована в феврале 1946 г. И затем использовалась в баллистической лаборатории испытательного полигона в Абердине, Мэриленд, США. — *Прим. ред.*

² ЭДВАК (EDVAC — Electronic Discrete Variable Automatic Computer, т.е. «Электронная автоматическая вычислительная машина с дискретными переменными») — вторая электронная вычислительная машина, построенная в Пенсильванском университете; предназначалась для баллистической лаборатории испытательного полигона в Абердине. — *Прим. ред.*

быть среди нас, так как он только что принял приглашение на должность заведующего лабораторией физиологии в Национальном институте кардиологии в Мексике; но от физиологов присутствовали д-р Мак-Каллох и д-р Лоренте де Но из Рокфеллеровского института. Д-р Эйкен не смог присутствовать, но в совещании участвовало несколько конструкторов вычислительных машин и среди них д-р Голдстайн. Д-р фон Нейман, д-р Питтс и я представляли математиков. Физиологи сделали совместное изложение задач кибернетики с их точки зрения. Аналогичным образом конструкторы вычислительных машин изложили свои цели и методы. В конце совещания всем стало ясно, что существует значительная идейная общность между работниками разных специальностей, что представители каждой группы уже могут пользоваться понятиями, выработанными представителями других групп, и что поэтому необходимо попытаться создать общую для всех терминологию.

Значительно раньше военная исследовательская группа, руководимая д-ром Уорреном Уивером, выпустила отчет, сначала секретный, а затем для ограниченного пользования, где излагалась работа г-на Бигелу и моя по предсказывающим приборам и волновым фильтрам¹. Было установлено, что конструирование специальных приборов для криволинейного предсказания не оправдывается условиями ведения зенитного огня. Но принципы оказались верными и были использованы государственными органами при решении задач на сглаживание и в некоторых смежных областях. В частности оказалось, что интегральное уравнение того типа, к которому сводится рассматриваемая нами задача вариационного исчисления, появляется в проблемах волноводов и во многих других проблемах прикладной математики. Таким образом, к концу войны идеи теории предсказания, идеи статистического подхода к технике связи так или иначе стали уже знакомы значительной части статистиков и инженеров-связистов в Соединенных Штатах и Великобритании. Кроме моего военного отчета, ныне совершенно разошедшегося, к этому времени вышло большое число объяснительных статей, написанных Левинсоном, Уоллменом, Дэниеллом, Филлипсом и другими² для заполнения пробела. Сам я в течение нескольких лет готовил большую математическую статью с целью окончательно зафиксировать сделанную работу, но затем независимые от меня обстоятельства воспрепятствовали быстрой публикации этой статьи. Наконец, после совместного совещания Американского математического общества и Института математической статистики, организован-

¹ Как сообщается в другой книге Винера, этот военный отчет вышел в феврале 1942 г. — *Прим. ред.*

² *Levinson N. Math. and Physics. — 1947. — № 25. — P. 261—278; № 26. — P. 110—119.*

ного в Нью-Йорке весной 1947 г. (оно было посвящено изучению стохастических процессов с точки зрения весьма близкой к кибернетике), я переслал проф. Дубу из Иллинойского университета готовую часть рукописи с тем, чтобы он переработал ее в своих обозначениях и в соответствии со своими идеями для книги, которая должна выйти в серии математических обзоров Американского математического общества¹. Часть работы уже излагалась в курсе лекций, читанном мною на математическом отделении МТИ летом 1945 г. После этого вернулся из Китая мой старый ученик и сотрудник д-р Ю. В. Ли². Осенью 1947 г. он читает лекции о новых методах проектирования волновых фильтров и других аналогичных приборов в МТИ на электротехническом отделении. На основе этого курса лекций он собирается издавать книгу. В то же время намечается переиздание моего военного отчета, разошедшегося полностью³.

Как я уже сказал, д-р Розенблют вернулся в начале 1944 г. в Мексику. Весной 1945 г. я получил приглашение от Мексиканского математического общества принять участие в совещании, которое должно было состояться в июне в Гвадалахаре. К этому приглашению присоединилась Комиссия поощрению и координации научных исследований, руководимая д-ром Мануэлем Сандовалем Вальяртой, о котором я уже говорил. Д-р Розенблют предложил мне провести совместно какое-либо исследование, и Национальный институт кардиологии, где директором был д-р Игнасио Чавес, оказал мне свое гостеприимство.

Я тогда пробыл в Мексике около десяти недель. Мы с д-ром Розенблютом решили продолжать работу, которую уже обсуждали ранее с д-ром Уолтером Б. Кенноном, также гостившим у д-ра Розенблюта. К несчастью, эта поездка оказалась для д-ра Кеннона последней. Наша работа посвящалась зависимости между тоническими, клоническими и фазовыми судорогами при эпилепсии, с одной стороны, и тонической спазмой, биением и мерцанием сердца — с другой. Мы полагали, что сердечная мышца благодаря своей раздражимости столь же полезна для изучения механизмов проводимости, как и нервная ткань, а анастомозы и перекресты волокон сердечной мышцы ставят нас перед меньшими трудностями, чем нервные синапсы. Мы были глубоко благодарны д-ру Чавесу за его щедрое гостеприимство; и хотя институт никогда не стремился ограничить д-ра Розенблюта одним лишь исследовани-

¹ Впоследствии вышла книга *Doob J. L. Stochastic Processes*. — Wiley — Chapman & Hall, New York — London, 1953 (русский перевод: *Дуб Дж. Л. Вероятностные процессы*. — М., 1956). В предисловии к ней Дуб указал, что глава XII, посвященная теории линейного предсказания, написана с помощью Винера. — *Прим. ред.*

² *Lee Y. W. Math. and Physics*. — 1932. — № 11. — P. 261—278.

³ *Wiener N. Extrapolation, and Smoothing of Stationary time Series* // Technology Press and Wiley. — New York, 1949.

ем сердца, мы были весьма рады возможности способствовать выполнению основной задачи института.

Исследования наши приняли два направления: изучение явлений проводимости и покоя в однородных проводящих средах двух и более измерений и статистическое изучение свойств проводимости случайных сетей проводящих волокон. Первое направление привело нас к наброскам теории трепетания сердца, второе — к некоторому возможному пониманию явления мерцания. Оба направления изложены в опубликованной нами статье¹. Конечно, наши первые результаты потребовали затем значительного пересмотра. Но работу о трепетании продолжает г-н Оливер Г. Селфридж из Массачусетского технологического института, а статистические методы, примененные при изучении сетей волокон сердечной мышцы, были распространены на нейронные сети г-ном Уолтером Питтсом, ныне стипендиатом фонда Джона Саймона Гуггенгейма. Д-р Розенблют проводит экспериментальную работу, в чем ему помогает д-р Ф. Гарсия Рамос, сотрудник Национального института кардиологии и Мексиканской военно-медицинской школы.

В Гвадалахаре на заседании Мексиканского математического общества мы с д-ром Розенблютом доложили часть полученных результатов. Мы сделали вывод, что наши прежние предложения о возможном сотрудничестве оказались вполне реальными. Нам повезло, и мы получили возможность изложить наши результаты большой аудитории слушателей. Весной 1946 г. д-р Мак-Каллох договорился с фондом Джосайи Мейси об организации первого из совещаний по вопросам обратной связи, которые должны были состояться в Нью-Йорке. Эти совещания проводились в соответствии с традициями фонда Мейси. Организация совещаний занимался по поручению фонда д-р Фрэнк Фремон-Смит, работавший весьма эффективным порядком. Предполагалось собирать небольшую — не свыше, скажем, двадцати человек — группу специалистов по различным связанным между собой отраслям науки, чтобы эти специалисты проводили вместе пару дней в постоянном общении на неофициальных докладах, дискуссиях и совместных обедах. Группы будут собираться до тех пор, пока ее члены не преодолеют своих разногласий и преуспеют в выработке общего мнения. Основным ядром наших собраний была группа, сложившаяся в Принстоне в 1944 г.; однако доктора Мак-Каллох и Фремон-Смит, правильно оценив возможность психологических и социологических применений наших идей, включили в группу ряд ведущих психологов, социологов и антропологов. Необходи-

¹ Wiener N., Rosenblueth A. The Mathematical Formulation of the Problem of Conduction of Impulses in a Network of Connected Excitable Elements, Specifically in Cardiac Muscels. — Arch. Inst. Cardiol. Mex. — 1946. — № 16. — P. 205—265.

димось привлечения к работе психологов была очевидна с самого начала. Кто изучает нервную систему, не может забывать о мышлении, а кто изучает мышление, обязан постоянно помнить о нервной системе. Значительная часть психологии прошлого по существу была не чем иным, как физиологией внешних органов чувств, а комплекс идей, вносимых в психологию кибернетикой, затрагивает в первую очередь анатомию и физиологию высокоспециализированных областей коры головного мозга, связанных с этими внешними органами чувств. С самого начала мы догадывались, что проблема восприятия гештальта¹, или, иначе говоря, проблема образования обобщений при восприятии, имеет тот же характер. Каков механизм, при помощи которого мы опознаем квадрат как квадрат независимо от его положения, размеров и ориентации? Чтобы помочь нам в таких вопросах и, в свою очередь, получить информацию о возможных применениях наших концепций в своей области, среди нас присутствовали психологи: проф. Клувер из Чикагского университета, покойный д-р Курт Левин из Массачусетского технологического института и д-р М. Эриксон из Нью-Йорка.

Что касается социологии и антропологии, то очевидно, что информация и связь, как механизмы организации, действуют не только в индивидууме, но и в обществе. Совершенно невозможно понять устройство таких социальных систем, как муравейник, без подробного анализа их средств связи; здесь нам очень пригодилась помощь, которую оказал д-р Шнейрла. При рассмотрении аналогичных проблем, касающихся организации человеческого общества, мы обращались к антропологам д-ру Бейтсону и д-ру Маргарите Мид. Д-р Моргенштерн из Института высших исследований был нашим консультантом в той важной области социальной организации, которая связана с экономическими вопросами. Между прочим, его очень ценная книга по теории игр, написанная им совместно с д-ром фон Нейманом, принадлежит к наиболее интересным исследованиям социальной организации. Методы, которыми это исследование выполнено, тесно связаны с методами кибернетики, хотя и отличны от них. Д-р Левин и другие представляли новое направление в теории изучения общественного мнения и практике его формирования, а д-р Нортроп интересовался анализом философского значения нашей работы.

Это, однако, не составляет полного списка нашей группы. Расширяя группу, мы пополнили ее также новыми инженерами и математиками (Бигелоу и Сэведж), новыми нейроанатомами и нейрофизиологами (фон Бонин и Ллойд) и т.д. Наше первое со-

¹ Гештальт (нем. *Gestalt*) — целостная форма, целостный образ; термин так называемой гештальтпсихологии — направления в зарубежной психологической науке, придающего особое значение целостному подходу к явлениям. — *Прим. ред.*

вещание, состоявшееся весной 1946 г., было посвящено в основном ознакомительным докладам бывших участников Принстонского совещания и общей оценке новой области всеми присутствующими. Мнение совещания было следующим. Идеи кибернетики достаточно важны и интересны, и имеет смысл устраивать такие совещания каждые полгода. Перед ближайшим совещанием надо устроить небольшой семинар для лиц, обладающих меньшей математической подготовкой, и объяснить им как можно проще существо используемых математических понятий.

Летом 1946 г., воспользовавшись поддержкой Рокфеллеровского фонда и гостеприимством Национального института кардиологии, я возвратился в Мексику, чтобы продолжить нашу совместную с д-ром Розенблютом работу. На сей раз мы решили взять неврологическую задачу, непосредственно затрагивающую вопросы обратной связи, и посмотреть, что здесь можно добиться экспериментальным путем. В качестве подопытного животного мы выбрали кошку и решили изучать у нее четырехглавую мышцу — разгибатель бедра. Мы перерезали место прикрепления мышцы, присоединяли ее под известным напряжением¹ к рычагу и записывали ее сокращения в изометрических и изотонических условиях. Для записи электрических изменений в самой мышце мы пользовались осциллографом. Обычно мы работали с кошкой, которая была сначала децеребрирована под эфирным наркозом, а затем превращена в спинно-мозговой препарат перерезкою спинного мозга на уровне груди. Во многих случаях для усиления рефлекторных реакций использовался стрихнин. Мышца нагружалась до тех пор, пока легкое надавливание не вызывало у нее периодических сокращений, которые на языке физиологов называются клонусом. Мы исследовали эти периодические сокращения с учетом физиологического состояния кошки, нагрузки мышцы, частоты колебания, основного уровня, вокруг которого происходят колебания, и их амплитуды. Эти колебания мы пытались анализировать теми же методами, которыми анализировали бы механическую или электрическую систему, обнаруживающую рысканье такой же формы. Например, мы применяли методы, изложенные в книге Маккола о сервомеханизмах.

Здесь не место обсуждать подробно значение наших результатов. Сейчас мы их проверяем и готовимся изложить для публикации. Однако установлены и весьма вероятны следующие положения: во-первых, частота клонических колебаний гораздо менее чувствительна к изменениям условий нагрузки, чем мы ожидали; во-вторых, эта частота определяется почти исключительно константами замкнутой дуги «эфферентный нерв — мышца — конеч-

¹ Речь идет об упругом напряжении, т. е. о напряжении, измеряемом в единицах силы. — *Прим. ред.*

ное кинестетическое тело — афферентный нерв — центральный синапс — эфферентный нерв». Эта цепь не является даже в первом приближении цепью линейных операторов относительно числа импульсов, передаваемых в секунду эфферентным нервом, но становится почти что линейной, если вместо числа импульсов взять его логарифм. Это соответствует тому обстоятельству, что огибающая раздражения эфферентного нерва весьма далека от синусоиды, но логарифм этой кривой гораздо ближе к синусоиде. Между тем в линейной колебательной системе с постоянным уровнем энергии кривая раздражения должна быть синусоидой во всех случаях, кроме множества случаев нулевой вероятности. С другой стороны, понятия проторения и торможения по своей природе являются скорее мультипликативными, чем аддитивными. Так, полное торможение означает умножение на нуль, а частичное торможение — умножение на малый множитель. С помощью понятий торможения и проторения и обсуждалась эта рефлекторная дуга¹. Далее. Синапс есть регистратор совпадений, и выходное волокно раздражается лишь тогда, когда число импульсов, поступивших на входы в течение некоторого малого времени суммации, превышает определенный порог. Если этот порог достаточно низок по сравнению с общим числом входных сигналов, то синаптический механизм служит просто для умножения вероятностей и может рассматриваться как приблизительно линейное звено лишь в логарифмической системе. Этот приблизительно логарифмический характер синаптического механизма, несомненно, связан с приблизительно логарифмическим характером закона интенсивности ощущения Вебера-Фехнера, хотя названный закон и является лишь первым приближением.

Самое интересное — это то, что, приняв логарифмическую шкалу и используя данные, полученные при изучении происхождения одиночных импульсов через различные звенья нервно-мышечной дуги, мы смогли получить весьма хорошее приближение к экспериментальным значениям периода клонических судорог при помощи методов, применяемых в теории сервомеханизмов для определения частоты колебаний рысканья в перерегулированных системах с обратной связью. Теоретически мы получили колебания приблизительно в 13,9 Гц для условий, в которых частота экспериментально наблюдаемых колебаний изменялась от 7 до 30 Гц, оставаясь, однако, большей частью в пределах от 12 до 17 Гц. Учитывая условия исследования, совпадение следует считать очень хорошим.

Частота клонических судорог не является единственным важным явлением, которое мы наблюдали. Мы также встретили от-

¹ Неопубликованные статьи по клонусу, подготовленные в Национальном институте кардиологии в Мексике. — *Прим. ред.*

носительно медленное изменение основного упругого напряжения и еще более медленное изменение амплитуды. Эти явления, конечно, носят совсем не линейный характер. Однако достаточно медленные изменения параметров линейной колебательной системы можно рассматривать в первом приближении как бесконечно медленные, а тогда на протяжении каждого этапа колебаний система ведет себя как система с постоянными параметрами. Этот метод известен в других разделах физики под названием метода вековых возмущений. Он может применяться и для изучения изменений основного уровня и амплитуды клонуса. Эта работа еще не закончена, но ясно, что она является перспективной и обещающей.

Есть серьезные основания для следующего предположения: хотя при клонусе синхронизация главной дуги свидетельствует о ее принадлежности к двухнейронным дугам, усиление импульсов в этой дуге изменяется в одной, а может быть, и в нескольких точках, так что некоторая часть общего усиления определяется медленными, многонейронными процессами, протекающими в отделах центральной нервной системы, расположенных гораздо выше спинно-мозговой цепочки, ответственной за синхронизацию клонических судорог. На это переменное усиление влияет уровень центральной активности, применение стрихнина или анестезирующих средств, децеребрации и многие другие причины.

Таковы главные результаты, доложенные д-ром Розенблютом и мною на Мейсиевском совещании осенью 1946 г. и на заседании Нью-Йоркской академии наук. Это заседание академии состоялось той же осенью и преследовало цель пропаганды кибернетики в широких массах слушателей. Хотя мы были удовлетворены нашими результатами и целиком убеждены в осуществимости работ в этом направлении, мы чувствовали, что наша совместная работа продолжалась слишком мало и проводилась в слишком стесненных обстоятельствах и что поэтому не стоило публиковать результаты без дальнейших экспериментальных подтверждений. Сейчас, летом и осенью 1947 г., мы ищем эти подтверждения, которые, впрочем, могут оказаться и опровержением.

Рокфеллеровский фонд ранее уже предоставил д-ру Розенблюту субсидию на оборудование нового лабораторного здания в Национальном институте кардиологии. Мы решили, что наступило подходящее время для нашего совместного обращения в этот фонд к д-ру Уоррену Уиверу, заведующему отделом физических наук, и д-ру Роберту Морисону, заведующему отделом медицинских наук. Помощь фонда дала бы нам основу для длительного научного сотрудничества и тем самым позволила бы выполнять нашу программу более медленно, но более основательно. В этом нас горячо поддерживали наши учреждения. Д-р Джордж Гаррисон, декан отделения точных наук, был главным представителем Массачусет-

ского технологического института во время этих переговоров, а д-р Игнасио Чавес выступал от имени Национального института кардиологии. Во время переговоров выяснилось, что лабораторный центр нашей совместной работы следует организовать в Национальном институте кардиологии, так как, во-первых, это позволяло избежать дублирования лабораторного оборудования и, во-вторых, Рокфеллеровский фонд был весьма заинтересован в развитии научных центров в Латинской Америке. Наконец, был принят план на пять лет, в течение которых я должен был проводить каждый второй год в Национальном институте кардиологии, а д-р Розенблют — по шесть месяцев в Массачусетском технологическом институте все остальные годы. Время пребывания в Национальном институте кардиологии предполагалось посвятить изучению и разъяснению экспериментальных данных, относящихся к кибернетике, а остальное время — изысканию более теоретического характера и, самое главное, исключительно трудной задаче составления программы подготовки для людей, желающих работать в этой новой области. Необходимо было, чтобы эта программа обеспечивала им приобретение необходимых математических, физических и технических знаний и наряду с этим — надлежащее знакомство с методами биологии, психологии и медицины.

Весной 1947 г. д-р Мак-Каллох и г-н Питтс сделали работу, имеющую большое значение для кибернетики. Перед д-ром Мак-Каллохом стояла задача сконструировать аппарат, дающий возможность слепому воспринимать печатный текст на слух. Получение звуков разных тонов из разных букв через посредство фотоэлементов — давно известная вещь. Осуществить ее можно многими способами. Основная трудность заключается в том, чтобы получить один и тот же звук для букв данной формы независимо от их величины. Это точный аналог задачи восприятия формы, или гештальта, восприятия, позволяющего нам опознавать квадрат как квадрат независимо от бесчисленных изменений размера и ориентации. Прибор Мак-Каллоха обеспечивал избирательное чтение печатной буквы при различных ее увеличениях. Такое избирательное чтение может выполняться автоматически посредством процесса развертки. Идея развертки, позволяющая производить сравнение между исследуемой фигурой и данной стандартной фигурой фиксированного, но совсем другого размера, уже предлагалась мною на одном из Мейсиевских совещаний. Схема прибора, осуществляющего избирательное чтение, привлекла внимание д-ра фон Банина, который тут же спросил: «Это схема четвертого слоя зрительной коры головного мозга?» Основываясь на этой идее, д-р Мак-Каллох с помощью г-на Питтса разработал теорию, связывающую анатомию и физиологию зрительной коры головного мозга. В этой теории операция развертки по некоторому

множеству преобразований играет большую роль. Указанная теория была доложена весной 1947 г. на Мейсиевском совещании и на заседании Нью-Йоркской академии наук.

Упомянутый процесс последовательного перебора занимает определенный период времени, соответствующий так называемому «времени развертки» в обычном телевидении. Различные анатомические соображения позволяют определить этот период по длине цепочки последовательных синапсов, необходимых для осуществления одного цикла работы. Эти соображения дают время порядка одной десятой секунды для полного завершения цикла операций, что приблизительно равно периоду так называемого «альфа-ритма» головного мозга. Между прочим, совершенно другие соображения уже давно говорили за то, что «альфа-ритм» связан со зрительным восприятием и играет важную роль в процессе восприятия формы.

Весной 1947 г. я получил приглашение принять участие в математической конференции в Нанси (Франция) по проблемам гармонического анализа. Я принял его и по пути в Нанси и обратно провел в целом около трех недель в Англии в гостях у моего старого друга проф. Дж. Б. С. Холдэйна. Это был прекрасный случай встретиться с большинством специалистов, работавших по сверхбыстрым вычислительным машинам, особенно в Манчестере и в Национальной физической лаборатории в Теддингтоне. Но больше всего я был рад возможности побеседовать в Теддингтоне об основных идеях кибернетики с г-ном Тьюрингом. Я посетил также психологическую лабораторию в Кембридже и имел возможность обсудить подробно работу, которую вели проф. Ф. К. Бартлетт и его сотрудники. Они занимались оценкой человеческого фактора в управляющих системах, содержащих такой фактор. Я нашел, что, в общем, в Англии так же сильно интересуются кибернетикой и так же хорошо разбираются в ней, как и в Соединенных Штатах, и что инженерно-технические работы поставлены превосходно, хотя и ограничены в масштабах из-за меньших размеров выделенных средств. Я обнаружил большой интерес к кибернетике и большое понимание ее возможностей у многих, а профессора Холдэйн, Х. Леви и Бернал смотрели на нее совершенно определенно как на один из самых актуальных вопросов, стоящих перед наукой и научной философией. Однако в деле объединения всей этой области и сближения друг с другом различных линий научно-исследовательской работы я не обнаружил такого продвижения, как у нас, в Штатах.

Во Франции, на конференции по гармоническому анализу в Нанси, был сделан ряд докладов, в которых статистические понятия соединялись с понятиями из техники связи совершенно в духе идей кибернетики. В особенности должны быть упомянуты г-н Блан-Лапьерр и г-н Лоэв. Я обнаружил также, что этой темой

весьма интересуются математики, физиологи и физико-химики, особенно в связи с ее термодинамическими аспектами, затрагивающими более общую проблему природы самой жизни. Между прочим, когда венгерский биохимик проф. Сент-Дьёрдьи обсуждал со мной эти вопросы в Бостоне еще до моего отъезда, оказалось, что его взгляды вполне гармонируют с моими.

Еще одно событие во время моего пребывания во Франции заслуживает здесь особого упоминания. Мой коллега проф. Дж. де Сантильяна из Массачусетского технологического института познакомил меня с г-ном Фрейманом из издательской фирмы «Герман и К°», и г-н Фрейман предложил мне издать настоящую книгу. Я был очень рад его предложению, так как г-н Фрейман — мексиканец, а эта книга писалась в Мексике и значительная часть подготовительной научной работы проводилась также в Мексике.

Как уже упоминалось выше, одно из направлений работы, наметившееся на Мейсиевских совещаниях, касалось значения, которое могут иметь понятия и методы теории связи при изучении общественной системы. Нет сомнения, что общественная система является организованным целым, подобно индивидууму; что она скрепляется в целое системой связи; что она обладает динамикой, в которой круговые процессы обратной связи играют важную роль. Это относится как к общим вопросам антропологии и социологии, так и к более специальным вопросам экономики. В частности, весьма важная работа фон Неймана и Моргенштерна, о которой мы уже говорили, относится к этому кругу идей. На этом основании д-р Грегори Бейтсон и д-р Маргарита Мид убеждали меня, ввиду крайне неотложного характера социально-экономических проблем в наш век беспорядка, посвятить значительную часть моих сил обсуждению этой стороны кибернетики.

Однако при всей солидарности с их уверенностью, что ситуация не терпит промедления, и при всей надежде, что они и другие компетентные работники займутся проблемами такого рода (эти проблемы обсуждаются в последней главе настоящей книги), я не могу разделить ни их мнения, что мне следует заниматься этими вопросами в первую очередь, ни их надежд, что в этом направлении можно добиться результатов, которые оказали бы ощутимое терапевтическое действие на теперешние болезни общества. Начать с того, что основные величины, действующие на общество, не только являются статистическими, но, более того, определяются чрезвычайно короткими статистическими рядами. Что толку объединять данные об экономике сталелитейной промышленности до и после введения бессемеровского процесса или сравнивать статистику производства резины до и после расцвета автомобильной промышленности и культивации гевеи в Малайе? Точно так же нет глубокого смысла собирать статистику венерических заболеваний в одной таблице, охватывающей период до

и после введения сальварсана, если только специально не имеется в виду выяснить эффективность лекарства. Для хорошей статистики общества нужно собирать данные в течение длительного отрезка времени при существенно постоянных условиях, как для хорошего разрешения света нужен объектив с большим отверстием диафрагмы. Эффективное отверстие диафрагмы не возрастает заметно с увеличением ее номинального отверстия, если только объектив не сделан из столь однородного материала, что задержка света при прохождении различных частей объектива соответствует нужным теоретическим значениям с точностью до малой доли длины волны. Подобно этому долговременные статистические ряды, составленные при весьма изменчивых условиях, дают лишь кажущуюся, ложную точность.

Итак, гуманитарные науки — убогое поприще для новых математических методов. Настолько же убогой была бы статистическая механика газа для существа с размерами того же порядка, что и молекула. Флюктуации, которые мы игнорируем с более широкой точки зрения, представляли бы для него как раз наибольший интерес. Более того, при отсутствии надежной стандартной методики расчетов роль суждения эксперта в оценке социологических, антропологических и экономических факторов настолько велика, что новичку, еще не приобретшему огромного опыта, свойственного обычно эксперту, здесь нечего делать. Замечу в скобках, что современный аппарат теории малых выборок, как только он выходит за рамки простого подсчета своих собственных, специально определенных параметров и превращается в метод положительных статистических выводов для новых случаев, уже не внушает мне никакого доверия. Исключение составляет случай, когда этот аппарат применяется статистиком, который явно знает или хотя бы неявно чувствует основные элементы динамики исследуемой ситуации.

Я говорил только что об области, в которой мои надежды на кибернетику являются довольно умеренными ввиду существования ограничений на данные, которые мы хотим получить. Однако имеются две области, где, по моему мнению, можно добиться практических результатов с помощью кибернетических идей, но где для этого еще потребуются дальнейшие исследования. Одна из них — протезирование утерянных или парализованных конечностей. Как мы видели при обсуждении гештальта, идеи техники связи уже применялись Мак-Каллохом к проблеме замены утраченных органов чувств, когда он строил прибор, который бы позволил слепому читать печатный текст на слух. Здесь важно, что прибор Мак-Каллоха берет на себя в совершенно явной форме не только функции глаза, но и некоторые функции зрительной области коры головного мозга. Очевидно, нечто подобное возможно и в случае искусственных конечностей. Потеря части конечности

означает не только потерю чисто пассивной опоры, доставляемой потерянной частью как механическим продолжением уцелевшей части, и не только потерю способности сокращения соответствующих мышц. Она означает также потерю всех кожных и кинестетических ощущений, возникавших в потерянной части. Первые две потери протезист в настоящее время пытается заменить. Замена третьей пока что была вне его возможностей. В случае простой деревянной ноги это не имеет значения: брусочек, заменяющий утраченную конечность, не обладает собственными степенями свободы и кинестетический механизм культи вполне достаточен для регистрации положения и скорости протеза. Иное дело — шарнирный протез с подвижным коленом и лодыжкой, который при ходьбе выбрасывается протезируемым вперед с помощью оставшейся мускулатуры. В этом случае у протезируемого нет достаточных сведений о положении и скорости частей протеза, и протезируемый ступает по неровному грунту неуверенно. Снабдить искусственные суставы и подошву искусственной ступни датчиками натяжения или давления, действующими электрически или как-либо иначе (например, через вибраторы) на нетронутые участки кожи, — это вряд ли непреодолимая трудность. Существующие протезы устраняют некоторые ограничения подвижности, вызванные ампутацией, но оставляют атаксию. Применение подходящих рецепторов позволило бы устранить в значительной степени и атаксию, так что протезируемый мог бы выработать, например, такие рефлексы, которыми все мы пользуемся при управлении автомобилем. Это позволило бы ему ходить гораздо увереннее. Все сказанное о ноге можно применить с еще большим основанием к руке. Рисунок человека в разрезе, знакомый всем читателям книг по неврологии, показывает, что сенсорная потеря при удалении одного только большого пальца руки намного больше, чем даже при удалении ноги до тазобедренного сустава.

Эти доводы я пытался изложить соответствующим авторитетам, но до сего времени мало чего добился. Не знаю, высказывались ли подобные идеи кем-либо раньше, как и не знаю, проводилась ли их проверка и не были ли они отвергнуты за технической неосуществимостью. Если они еще не получили надлежащего практического рассмотрения, то, по всей видимости, получат таковое в ближайшем будущем.

Перейду теперь к другому вопросу, заслуживающему, по моему мнению, внимания. Для меня давно сделалось ясно, что современная сверхбыстрая вычислительная машина в принципе является идеальной центральной нервной системой для устройств автоматического управления. Ее входные и выходные сигналы не обязательно должны иметь вид чисел или графиков, а могут быть также показаниями искусственных органов чувств, например фотоэлементов или термометров, и соответственно сигналами для

двигателей и соленоидов. Тензометры и другие подобные средства позволяют наблюдать работу таких двигательных органов и, замыкая обратную связь, передавать эти наблюдения в центральную управляющую систему как искусственные кинестетические ощущения. С помощью этих средств мы уже в состоянии построить искусственные машины почти со сколь угодно сложным поведением. Еще задолго до Нагасаки и до того, как общественности стало известно о существовании атомной бомбы, мне пришла мысль, что мы стоим перед лицом другой социальной силы, несущей неслыханные возможности для добра и для зла. Заводы-автоматы, сборные конвейеры без рабочих появятся так скоро, как только мы решим затратить на них столько же усилий, сколько мы, например, затратили на развитие техники радиолокации во время Второй мировой войны¹.

Я сказал, что это новое развитие техники несет неограниченные возможности для добра и для зла. С одной стороны, оно делает метафорическое господство машин, о котором фантазировал Сэмюэл Батлер², самой непосредственной и неметафорической проблемой. Оно дает человеческой расе новый, весьма эффективный набор механических рабов для несения ее трудов. Такой механистический труд обладает многими экономическими качествами рабского труда, хотя, в отличие от последнего, он свободен от деморализующего влияния человеческой жестокости, с другой стороны, всякий труд, принимающий условия конкуренции с рабским трудом, принимает и условия рабского труда, а тем самым становится по существу рабским. В этой формуле главное понятие — конкуренция. Быть может, для человечества было бы хорошо, если бы машины избавили его от необходимости выполнять грязные и неприятные работы. А быть может, это было бы плохо — я не знаю. К этим новым возможностям нельзя подходить с точки зрения рынка, с точки зрения сэкономленных денег. Но как раз лозунг свободного рынка — «пятой свободы»³ — стал ло-

¹ Fortune. — № 32 (October). — P. 139—147; Fortune. — 1945. — (November). — P. 163—169.

² Сэмюэл Батлер (1835—1902) — видный английский писатель-сатирик. В его фантастической сатире «Едгин, или За горами» («Erewhon, or Over the Range», 1872) рассказывается о путешествии в труднодоступную страну Едгин (анаграмма от «нигде», англ. Erewhon от «nowhere»), где «все наоборот». Едгиняне некогда обладали высокоразвитой техникой, но затем, после «антимашинистской революции», разрушили все машины и навсегда отказались от них. Переворот вызвала «Книга машин» некоего пророка, анализировавшего эволюцию машин и доказывавшего неизбежность конечного порабощения ими человека. Повесть Батлера, написанная в яркой свифтовской форме, имела большой успех (на русский язык не переводилась). Продолжением ее является «Новое путешествие в Едгин» «Erewhon Revisited», 1901, где Едгин «европеизируется». — *Прим. ред.*

³ В период борьбы с фашизмом президент США Ф. Рузвельт выставил лозунг «четыре свободы» (слова, совести, «от нужды», «от страха»). — *Прим. ред.*

зунгом того сектора американского общественного мнения, который представлен Национальной ассоциацией промышленников и журналом «Сатердей ивнинг пост». Я говорю об американском общественном мнении, потому что, как американец, знаком с ним лучше всего, но торгаши не знают национальных границ.

Быть может, исторические корни настоящего положения вещей станут яснее, если вспомнить, что Первая промышленная революция — революция «темных сатанинских фабрик»¹ — была обесценением человеческих рук вследствие конкуренции машин. Любая заработная плата, на которую мог бы прожить землекоп в Соединенных Штатах, будет слишком высока, чтобы позволить ему конкурировать с экскаватором. Современная промышленная революция должна обесценить человеческий мозг, по крайней мере в его наиболее простых и рутинных функциях. Разумеется, подобно тому как квалифицированный плотник, квалифицированный механик или квалифицированный портной пережили так или иначе Первую промышленную революцию, квалифицированный ученый и квалифицированный администратор могут пережить вторую. Но представим себе, что вторая революция завершена. Тогда средний человек со средними или еще меньшими способностями не сможет предложить для продажи ничего, за что стоило бы платить деньги.

Выход один — построить общество, основанное на человеческих ценностях, отличных от купли-продажи. Для строительства такого общества потребуется большая подготовка и большая борьба, которая при благоприятных обстоятельствах может вестись в идейной плоскости, а в противном случае — кто знает как? Поэтому я счел своим долгом передать мои сведения и мое понимание положения тем, кто активно заинтересован условиями и будущим труда, т.е. профсоюзам. Я принял меры к установлению контактов с одним-двумя лицами из руководства конгресса производственных профсоюзов. Они выслушали меня с большим пониманием и сочувствием. Более этого ни я, ни они сделать не смогли. По их мнению, как и по моим предыдущим наблюдениям и сведениям, профсоюзы и рабочие движения в Соединенных Штатах и в Англии находятся в руках группы весьма ограниченных лиц, хорошо разбирающихся в специальных вопросах деятельности цеховых старост и борьбы за заработную плату и условия работы, но совершенно не подготовленных для занятия большими политическими, техническими, социологическими и экономическими проблемами, касающимися самого существования труда. Причины ясны. Профсоюзный работник, переходя от на-

¹ Слова известного английского художника и поэта Уильяма Блейка (1757—1827), современника Первой промышленной революции (поэма «Иерусалим»). — *Прим. ред.*

пряженной жизни рабочего к напряженной жизни администратора, обычно лишен возможности получить широкое образование. Тех же, кто имеет такое образование, обычно не привлекает карьера профсоюзного деятеля. В свою очередь, профсоюзы, вполне естественно, не заинтересованы в приеме таких людей.

Те из нас, кто способствовал развитию новой науки — кибернетики, находятся, мягко говоря, не в очень-то утешительном моральном положении. Эта новая наука, которой мы помогли возникнуть, ведет к техническим достижениям, создающим, как я сказал, огромные возможности для добра и для зла. Мы можем передать наши знания только в окружающий нас мир, а это — мир Бельзена и Хиросимы. Мы даже не имеем возможности задержать новые технические достижения. Они носятся в воздухе, и самое большее, чего добился бы кто-нибудь из нас своим отказом от исследований по кибернетике, был бы переход всего дела в руки самых безответственных и самых корыстных из наших инженеров. Самое лучшее, что мы можем сделать, — это позаботиться о том, чтобы широкая публика понимала общее направление и значение этой работы, и ограничиться в своей собственной деятельности такими далекими от войны и эксплуатации областями, как физиология и психология. Как упоминалось выше, есть и такие, кто надеется, что польза от лучшего понимания человека и общества, которое дает эта новая наука, сможет предупредить и перевесить наше невольное содействие концентрации власти (которая всегда — по самим условиям своего существования — сосредоточивается в руках людей, наиболее неразборчивых в средствах). Но я пишу это в 1947 г. и должен заявить, что надежда на такой исход очень слаба.

Ноябрь, 1947 г.

Национальный институт кардиологии, г. Мехико.

Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. — М., 1968. — С. 43—79.

НИТЬ ЖИЗНИ

Глава 2. ВНУТРИ КЛЕТКИ

В предыдущей главе мы говорили о революционных потрясениях в биологии, благодаря которым создалась возможность все более глубокого и полного изучения живых организмов при все возрастающей степени разрешения. Мы говорили о целом организме. Затем — о клетке и, наконец, обратились к химическим реакциям, протекающим внутри клетки, сравнив их с производственными процессами на фабрике.

Далее мы сказали, что молекулярная биология исследует главным образом работу клетки на молекулярном уровне и при этом вскользь упомянули два наиболее важных вида молекул, являющихся компонентами клетки, а именно молекулы белков и молекулы нуклеиновых кислот. Мы указали, что и те, и другие представляют собой молекулы-гиганты, состоящие из тысяч атомов, тогда как обычные молекулы, с которыми привыкли работать химики, содержат не более нескольких десятков атомов. Мы отметили, что именно такие гигантские молекулы играют в биологических системах наиболее важную роль.

Фактически секрет возникновения, существования и значения молекулярной биологии кроется в появлении возможности изучать эти гигантские молекулы, не подвластные старым химическим методам.

Три следующие главы будут посвящены белкам. Пытаясь представить, как выглядит молекула белка, мы будем вынуждены перейти на язык химических формул и молекулярных моделей, причем это будут достаточно сложные формулы и модели — речь ведь идет об очень сложных молекулах. Поэтому сначала мы попытаемся выяснить, что означают те формулы и модели, которыми пользуются химики.

Формулы — это всего лишь символы. Когда вы смотрите на формулу вещества, вы видите не само вещество, а только его символ — своего рода абстракцию реального объекта. Но опытному глазу химика она кое-что говорит. Она как бы заставляет звенеть

звоночки в его мозгу, и чем опытней химик, тем больше таких звоночков будет звенеть.

Возьмем, к примеру, формулу воды H_2O — едва ли не самую простую и всем известную формулу. Что она означает? Она говорит нам, что молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Химик, глядя на эту формулу, сразу же представляет себе, что атомы молекулы воды расположены так, что угол между направлениями связей $\text{H}-\text{O}$ и $\text{O}-\text{H}$ должен быть около 105° , а расстояния между атомами водорода и кислородом составляют по $0,96 \cdot 10^{-8}$ см — чуть менее одной стомиллионной доли сантиметра. Конечно, вывести эти факты из каких-то простых принципов мы не сможем; они являются частью накопленных химиками знаний о строении молекул. Их и вспоминает химик, когда смотрит на формулу H_2O . Формула, приведенная на рис. III¹, по сравнению с формулой H_2O отражает свойства молекулы воды полнее и поэтому выглядит гораздо более содержательным символом. Но и он не совсем точен. Мы знаем, например, что каждый атом занимает определенный объем. Правда, современная физика учит, что каждый атом похож на миниатюрную солнечную систему, в которой крошечное положительно заряженное ядро окружено облаком отрицательно заряженных электронов. Казалось бы, атомы должны быть в значительной степени «пустыми». И тем не менее два атома не могут подойти друг к другу ближе, чем позволяют их электронные облака, поскольку между ними возникает электрическое отталкивание. На практике часто удобно считать, что атомы, как правило, ведут себя подобно твердым бильярдным шарам.

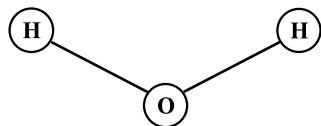


Рис. III. Модель молекулы воды, H_2O

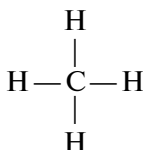
Еще один общепринятый способ изображения молекул состоит в том, что атомы на этой модели специально сделаны поменьше, чтобы можно было видеть связи между ними. Каждый атом характеризуется определенным числом связей со своими соседями; химики называют их *валентными связями*. По сравнению с предыдущими эти модели обладают тем преимуществом, что позволяют видеть, как выглядит молекула внутри, что особенно важно для сложных молекул. В частности, те сложные молекулы, о которых мы здесь рассказываем, очень часто изображают именно таким образом.

Итак, перед нами четыре различных способа изображения молекулы воды, и каждый из них имеет свои преимущества.

Теперь рассмотрим несколько более сложный пример. В состав природного газа входит метан, который имеет формулу CH_4 . Фор-

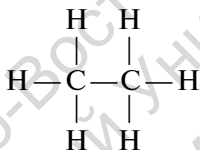
¹ Нумерация рисунков та же, что и в оригинале. — Прим. ред.

мула подсказывает химику, что в молекуле метана с одним атомом углерода связаны четыре атома водорода. Следовательно, эту молекулу можно представить таким образом:



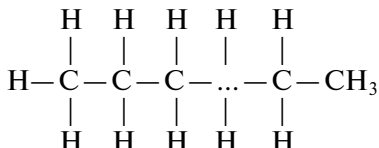
В действительности молекула метана выглядит иначе. Известно, что четыре валентные связи атома углерода не лежат в одной плоскости. Они идут в направлениях от центра тетраэдра к его вершинам. Эта модель ближе к реальности хотя бы потому, что дает нам трехмерный образ молекулы, чего обычная формула дать не в состоянии.

Допустим теперь, что мы убрали из молекул метана один атом водорода и вместо него к оставшейся CH_3 -группе присоединили еще такую же CH_3 -группу. Мы получаем молекулу CH_3CH_3 или C_2H_6 :



Этот этан, который, подобно метану, представляет собой газообразное соединение. Мы можем продолжать отщепление атомов водорода с заменой их на CH_3 -группы. Постепенно мы можем построить длинную цепь атомов.

Углерод образует длинные цепи легче, чем все другие атомы, — в этом одна из причин того, что на него приходится значительная часть состава всех гигантских молекул, рассматриваемых в этой книге, и вообще большинства молекул, составляющих живые организмы. Возвращаясь к нашему примеру, мы видим, что в конце концов у нас получаются молекулы с общей формулой $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\ldots\text{CH}_3$. Мы можем выстроить в ряд сколько угодно CH_2 -групп, а затем на другом конце поместить последнюю CH_3 -группу, после чего будут насыщены все валентные связи:



Этот тип молекул известен химикам под названием *парафинов*. Если такая молекула содержит только один атом углерода, мы

получаем метан. Когда их станет четыре, получится бутан, которым обычно заправляют газовые зажигалки. Увеличим число атомов углерода до восьми и получим жидкий октан — он входит в состав бензина для автомобилей и самолетов. Будем так продолжать, пока не наберется уже порядочное число атомов углерода (скажем, около двадцати); тогда получим тяжелое смазочное масло. Дальнейшее добавление CH_2 -групп сначала даст что-нибудь вроде вазелина, и в конце концов очередь дойдет до твердых тел, таких, как парафин.

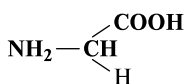
Как видите, по мере прибавления атомов углерода происходит постепенное изменение свойств молекул: сначала это газы, потом сильно летучие жидкости, далее жидкости становятся все более вязкими и в конце концов появляются твердые вещества.

Мы рассмотрели простейший из возможных примеров молекул с длинной цепью, иначе называемых *полимерами*. Этот пример служит наглядной иллюстрацией того, как с увеличением длины цепи постепенно изменяются свойства молекул. Можно привести много других хорошо известных примеров. Вспомним каучук и такие синтетические материалы, как нейлон и терилен, — все эти продукты также образованы длинными цепными молекулами. Если же вновь вернуться к биологии, то оказывается, что почти все гигантские молекулы, входящие в состав живых организмов, представляют собой полимеры. В частности, к ним относятся белки и нуклеиновые кислоты. К слову говоря, жиры и углеводы, которым мы в этой книге уделяем меньше внимания, построены по тому же плану. Невольно возникает вопрос: почему биологические молекулы имеют вид длинных цепей? Мы еще вернемся к этому позднее.

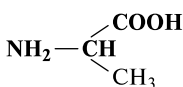
Надо сказать, что большие биологические молекулы, представшие теперь перед нами как длинные цепи атомов, чаще всего имеют форму, близкую к сферической. Следовательно, в большинстве случаев речь идет о компактно сложенных цепях. Очевидно, свернуть длинную цепь в плотный клубок можно многими разными способами.

Для наглядности представим себе нашу длинную молекулу в виде ожерелья из плотно нанизанных бусинок. Как легко видеть, свернуть эту нитку бус в плотный комок можно практически бесконечным числом различных способов. Поэтому даже несмотря на то, что такие молекулы в определенном смысле линейны, понять их структуру можно только рассматривая их как трехмерные объекты. Трехмерная структура длинных цепных молекул служит предметом обсуждения следующей главы. А пока продолжим знакомство с белками, только для начала ограничимся одним измерением.

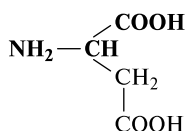
В цепях парафинов элементарным звеном — *мономером* — служит молекула метана CH_4 . В белках роль мономеров исполняют



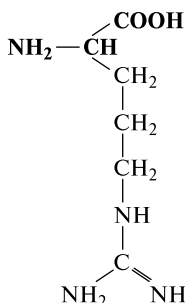
Глицин
(Гли)



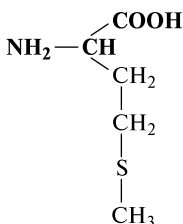
Аланин
(Ала)



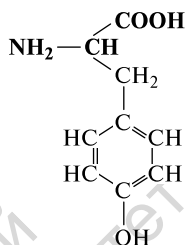
Аспарагиновая кислота
(Асп)



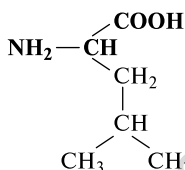
Аргинин
(Арг)



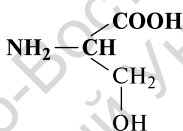
Метионин
(Мет)



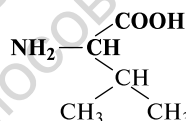
Тирозин
(Тир)



Лейцин
(Лей)



Серин
(Сер)



Валин
(Вал)

Рис. IV. Химические формулы некоторых аминокислот. На этом рисунке приведены полные и сокращенные названия аминокислот

более сходные молекулы, которые химики называли *аминокислотами*. Все аминокислоты различны, но в то же время между ними имеется близкое сходство (рис. IV).

Легко заметить, что у всех аминокислот одна часть молекулы выглядит совершенно одинаково (на рисунке эта часть располагается вверх). Другая часть (обращена вниз) у разных аминокислот имеет совсем разный вид. Ее называют боковой цепью.

Когда аминокислоты соединяются друг с другом, каждая аминокислота теряет расположенный слева атом водорода и OH-группу, находящуюся на ее правом конце. Свободные валентности «встречаются», аминокислоты связываются, и в результате образуется так называемая *полипептидная цепь* (рис. V). Атом H и OH-группа вместе образуют молекулу воды. Вы видите теперь, что сама цепь, или, как ее называют, *главная цепь*, состоит из повто-

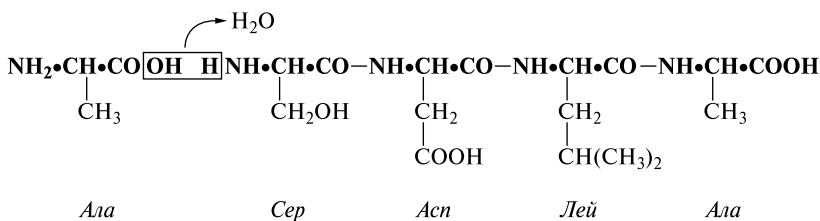


Рис. V. Образование полипептидной цепи, происходящее в результате отщепления воды от групп $-\text{COOH}$ и $-\text{NH}_2$ соседних аминокислот

ряющихся элементов, число которых соответствует числу аминокислот. Это и понятно — ведь в построении цепи участвуют как раз те части молекул, которые во всех аминокислотах одинаковы. С другой стороны, *боковые цепи* следуют друг за другом, не повторяясь, так как разным аминокислотам соответствуют разные боковые цепи. Все это слегка напоминает браслеты с брелочками, которые иногда носят девушки. Мы можем сам браслет уподобить главной цепи, а брелоки сравнить с боковыми цепями. К длинному браслету может быть подвешено довольно много разных брелочков. В молекулах белков возможно двадцать (и только двадцать) различных сортов боковых цепей, причем данный вид боковых цепей в одной молекуле обычно встречается более одного раза, так как в общей сложности молекула белка обычно содержит по несколько сотен аминокислот.

Итак, мы знаем теперь, что белки представляют собой *полимеры* аминокислот, обладающие очень длинными цепями, скрепленными сотнями связей.

Пожалуй, достаточно о химии белка. Теперь давайте попробуем разобраться, почему белки так важны в биологии. Вернемся снова к последовательности химических реакций в дрожжевой клетке, о которой упоминалось в предыдущей главе. Ни одна из этих реакций в пробирке не идет, а если и идет, то очень медленно — во много раз медленнее, чем в живых организмах. Значит, в живых организмах должен присутствовать какой-то агент, ускоряющий химические реакции, заставляющий их идти во много раз быстрее, чем в пробирке. Такие агенты называются *катализаторами*. Возможно, вы слышали о катализаторах, которые используются в промышленности для ускорения медленно протекающих химических реакций. Подобную же роль играют катализаторы в живых организмах. Эти биологические катализаторы, называемые *ферментами* (от латинского слова *fermentum* — брожение), во многих случаях были выделены биохимиками в чистом виде. Одним из первых процессов брожения было изучено спиртовое брожение под действием дрожжей. Было установлено, что каждой отдельной реакции этого процесса соответствует свой фермент. Следовательно, только одну эту цепь реакций обслуживает около дюжи-

ны ферментов. Все эти ферменты высокоспецифичны. Каждый из них может служить катализатором только своей реакции и никакой другой. Более того, они вызывают специфическое превращение только строго определенного вида молекул. Если молекулу слегка изменить, то фермент чаще всего вообще не оказывает на нее никакого действия.

Итак, взятая нами для примера последовательность химических реакций идет при участии дюжины ферментов. Однако эти реакции составляют лишь очень малую часть всей химической активности дрожжевой клетки. И почти каждая протекающая в клетке химическая реакция идет под контролем своего специально предназначенного для нее фермента. Всего живая клетка содержит несколько тысяч разных ферментов; каждый из них осуществляет контроль над одной определенной химической реакцией, заставляя ее идти быстрее. Следовательно, ферменты представляют собой настоящий рабочий механизм живой клетки. Продолжая нашу аналогию с фабрикой, мы можем сравнить их с работающими на фабрике станками и машинами. Как видите, ферменты в клетке выполняют поистине центральную роль. Если к этому добавить, что все известные нам ферменты — белки, то станет ясно, что на пути к познанию процессов, идущих в живых организмах, нам в первую очередь необходимо понять, как устроены белки и каковы их функции в живой клетке.

Рассмотрим ряд примеров. Думаю, что многие из них читателю знакомы. Начнем, конечно, с фермента. Когда делают сыр, в молоко добавляют специальный порошок, после чего оно тут же свертывается. Этот порошок содержит фермент, который вырабатывается пищеварительным аппаратом телят и вызывает свертывание молока. В сыроварении его называют *сычужным ферментом*, биохимики же называют его *ренином*. Другой известный белок — *кератин*. Мы уже говорили, что волосы состоят большей частью из белка; вот этот белок и называется *кератином*. Он выполняет структурную функцию. Надо сказать, что из белка построены также многие другие органы, выполняющие структурную функцию. Так, основным компонентом сухожилий, костей и кожи служит белок *коллаген*.

Возьмем теперь *гемоглобин* — белок, с которым мы не раз еще встретимся. Присутствием гемоглобина обусловлен красный цвет крови. Функция этого белка состоит в том, чтобы переносить кислород из легких к тканям. Гемоглобин обладает замечательной способностью связывать молекулярный кислород. Точнее говоря, одна молекула гемоглобина может связать одновременно четыре молекулы кислорода. В легких, где давление кислорода выше, происходит присоединение молекул кислорода к гемоглобину. Гемоглобин доставляет их к тканям, но там давление ниже, и кислород освобождается. Далее происходит диффузия

кислорода внутрь клеток. В клетке молекулы кислорода встречаются с другим белком — *миоглобином*, о котором мы тоже еще не раз услышим. Миоглобин — это как бы младший брат гемоглобина, его молекула в четыре раза меньше и способна связывать не четыре, а только одну молекулу кислорода. Миоглобин тоже красный; этим объясняется красный цвет мяса. Молекулы кислорода переходят от гемоглобина к миоглобину, где и хранятся до тех пор, пока не потребуются клетке.

Еще один важный белок — *миозин* мышц, обладающий замечательным свойством — сократительностью. Именно благодаря миозиновым волокнам мышцы способны сокращаться. Механизм мышечного сокращения представляет собой одну из центральных и наиболее захватывающих проблем биологии, еще далекую от полного решения.

И последний пример: к белкам относятся некоторые гормоны — химические переносчики, предназначенные для регуляции клеточных процессов. Одним из таких белков-гормонов является *инсулин*.

Как видите, молекулы белков выполняют великое множество самых различных функций, хотя все они построены из одинаковых строительных блоков — все тех же двадцати аминокислот. Одни и те же строительные блоки в разных комбинациях образуют молекулы, обладающие столь разнообразными свойствами и функциями. На первый взгляд может показаться удивительным, что такое разнообразие функций возникает на основе всего лишь двадцати сортов аминокислот. Но это во всяком случае ничуть не более удивительно, чем тот факт, что из одних и тех же двадцати шести букв английского алфавита могут быть сложены и сонет Шекспира, и, скажем, книга по молекулярной биологии.

Вообще говоря, белки почти целиком состоят из аминокислот, но для большей точности отметим, что некоторые белки содержат кроме того еще и другие небольшие группы атомов. Например, в молекулах гемоглобина и миоглобина присутствуют плоские группы атомов с атомом железа в центре — так называемые *гемогруппы*, к которым прикрепляются молекулы кислорода. В молекуле гемоглобина таких групп четыре, а в молекуле миоглобина только одна.

Роль белков в живых клетках столь значительна, столь важна, что без преувеличения можно сказать: природа любой живой клетки определяется главным образом белками, которые она содержит. Но тогда верно и то, что природа живого организма в целом в конечном счете определяется его белками.

Следовательно, для того чтобы понять, как устроен и как работает живой организм, нам необходимо постичь природу белков и их функции в составляющих организм клетках. А если нас инте-

решает взаимосвязь между разными организмами, то мы должны понять связь между белками, которые они содержат. Это подводит нас к проблеме видовой специфичности белков. Иначе говоря, для каждого вида характерны специфические, одному ему свойственные, молекулы белков, одинаковые у всех представителей данного вида; при этом у разных видов молекулы белка, выполняющие одни и те же функции, не идентичны.

Так, например, можно смело утверждать, что все те, кто читает эту книгу, имеют совершенно идентичный гемоглобин, абсолютно одинаковый вплоть до каждой аминокислоты, буквально до последнего атома. Очень редко, но все же случается, что у людей обнаруживается аномальный гемоглобин, однако обычно это ведет к достаточно серьезным заболеваниям, таким, например, как серповидноклеточная анемия. В таких случаях все сводится к очень простым изменениям: при серповидноклеточной анемии измененными оказываются только две из почти шестисот аминокислот, составляющих молекулу гемоглобина. Вот почему я так уверен, что у всех моих читателей молекулы гемоглобина одинаковы. Люди с аномальным гемоглобином — это, как правило, тяжелобольные, которые рано умирают; лишь самые незначительные изменения гемоглобина могут сойти для человека благополучно.

Если мы теперь обратимся к другому виду и возьмем, к примеру, гемоглобин лошади или коровы, то обнаружим, что он, казалось бы, почти ничем не отличается от гемоглобина человека. Он имеет тот же цвет, те же размеры и выполняет в организме те же функции. Однако, как показывает тонкий химический анализ, между гемоглобинами человека, лошади и коровы имеются ощутимые различия — их наборы аминокислот неодинаковы. Это мы и имели в виду, когда говорили о видовой специфичности. Может даже оказаться, что подобные различия в белках создают гораздо более глубокую основу для классификации животных и растений, чем внешние характеристики, — окраска, форма и другие признаки, которые только и имел Линней в своем распоряжении.

В следующей главе мы продолжим разговор о химии молекул белка — рассмотрим более подробно, сколько и какие именно аминокислоты составляют те или иные белки, в каком порядке они располагаются в полипептидной цепи, а также обсудим, каким образом химики научились определять последовательность аминокислот в различных белках. Однако мы вскоре увидим, что одной последовательности аминокислот нам недостаточно. Чтобы понять функции белка, необходимо точно знать способ свертывания полипептидной цепи в плотный клубок. Мы узнаем далее, как здесь на помощь химикам пришли физики, разработавшие специальные методы для изучения больших молекул не в одном, а в трех измерениях.

Глава 5. ПРОЦЕСС РАЗМНОЖЕНИЯ И ГЕНЕТИКА

В предшествующих главах мы рассматривали вопросы, связанные с молекулярной основой обмена веществ в клетках — той непрерывающейся химической активности, которая служит одним из отличительных признаков жизни. Но у живых организмов есть еще одна способность к самовоспроизведению. В последующих главах мы постараемся показать, какой свет на этот удивительный процесс проливают последние достижения молекулярной биологии.

Размножение бывает двух типов: *половое* и *бесполое*. Бесполое размножение происходит всякий раз, когда клетки делятся. В качестве примера можно привести рост любого многоклеточного организма. Одноклеточные организмы, скажем, бактерии, довольно часто размножаются делением. Половое размножение происходит путем слияния двух клеток — по одной от каждого родительского организма. Как мы все знаем, это происходит при оплодотворении яйцеклетки сперматозоидом. Конечно, эти два способа воспроизведения во многих отношениях отличаются друг от друга, но мы пока не касаемся различий. Рассмотрим оба способа с точки зрения передачи информации, как теперь принято. Дочерняя клетка должна получить от родительской клетки (или от двух клеток) информацию, которая позволит ей путем взаимодействия с окружающей средой вырасти в заранее предопределенный организм. *Количество* переданной информации должно быть невероятно велико: даже одна-единственная клетка отличается огромной сложностью и для построения самой себя требует максимально подробных и тщательно разработанных инструкций. Мало того, что информации должно быть много, — она еще должна быть исключительно *специфичной*, поскольку необходимо сохранение чистоты рода; попросту говоря, человек всегда должен порождать человека, бабочка — бабочку и т.д.

Проводя такую цепь рассуждений, мы сразу оказываемся перед целым рядом проблем: где в клетке хранится вся эта информация? Где напечатаны те инструкции, копии которых будут переданы последующим поколениям? В каком виде информация передается потомству и как она управляет построением новых клеток? Эти проблемы издавна не давали покоя мыслителям и ученым. Было предложено немало гипотез, ставивших своей целью объяснить ту удивительную цепь событий, которая приводит к появлению из одной оплодотворенной яйцеклетки такого высокоорганизованного создания, каким является человек. Например, многие биологи прежних времен считали, что в каждом сперматозоиде заключен гомункулус — миниатюрная копия того человека, который из этого сперматозоида разовьется. В наши дни, когда биологи вооружены гораздо более совершенными приборами, в

том числе современными микроскопами, умозрительные построения уступили место анализу реальных наблюдений, касающихся состава клеток и их поведения.

Наиболее заметной частью клетки является ядро — плотная центральная область, ограниченная от окружающей цитоплазмы. Чем больше биологи исследовали клетку, тем яснее для них становилась ключевая роль ядра, управляющего всей жизнью клетки. Уберите ядро из клетки (это можно сделать с помощью микроманипулятора), и прекращаются все внутриклеточные процессы. Если ядро не вернуть назад, клетка в конце концов погибает. У некоторых видов одноклеточных организмов удается даже заменить одно ядро другим, взятым у другого вида, и вскоре первая клетка приобретает признаки, характерные для второго организма. Итак, мы видим, что ядро существенно для поддержания клеточной активности и, кроме того, им определяются все признаки, характеризующие данную клетку. Мы можем рассматривать ядро как орган управления, содержащий всю информацию о клетке.

Прежде чем клетка разделится, ее ядро расщепляется на два дочерних ядра; делению ядра предшествует стадия, на которой оно распадается на ряд длинных, тонких, палочковидных структур различной формы и величины — так называемых *хромосом*. Хромосомы выстраиваются парами — по две хромосомы каждого сорта — и расходятся, после чего члены каждой пары движутся к противоположным концам клетки, где формируются два новых ядра, которые вскоре уже становятся частью двух дочерних клеток. Проходит какое-то время, и набор хромосом каждого дочернего ядра удваивается в процессе подготовки к следующему делению. В конечном счете каждая дочерняя клетка содержит полный набор хромосом, точно соответствующий набору хромосом родительской клетки.

Постепенно выяснилось, что именно хромосомы несут в себе ту информацию, которая переходит от клетки к клетке, от поколения к поколению. Этот вывод основывается на множестве разнообразных экспериментов, выполненных на всех возможных видах организмов. Например, в течение последнего полувека многочисленные исследования были проведены на крохотном насекомом — плодовой мушке дрозофиле (*Drosophila melanogaster*). По целому ряду причин этот вид стал излюбленным объектом генетических исследований. Дрозофил легко выращивать, они быстро достигают половой зрелости, что позволяет за сравнительно короткое время изучить большое число поколений. Клетки дрозофилы содержат небольшое число хромосом (вообще говоря, число хромосом у разных видов организмов неодинаково: у дрозофилы их 4 пары, у человека 23 пары), причем в некоторых клетках дрозофилы хромосомы настолько велики, что их можно подробно изучить с помощью микроскопа. Хромосомы дрозофи-

лы обнаруживают характерное чередование светлых и темных поперечных полос. Генетикам удалось установить соответствие между признаками организма и определенными участками хромосомы; было показано, что изменение специфического характера чередования полос всегда сопровождается изменением определенных внешних признаков дрозофилы. Соответствие между отдельными участками хромосом и признаками организма, или, как говорят генетики, соответствие между *генотипом* и *фенотипом* обычно изображается в виде так называемых *хромосомных карт*.

Мы приходим, таким образом, к мысли, что элемент наследственной информации, ответственный за данный признак взрослого организма, располагается в определенном участке определенной хромосомы. Такой элемент информации называется *геном*; если угодно, мы можем рассматривать хромосому просто как цепочку генов. Как же ген контролирует появление соответствующего признака? Мы знаем, что свойства клетки определяются природой ферментов и других белков, входящих в ее состав. Поэтому нам уже не покажется удивительным, что всем известным фактам лучше других соответствует гипотеза, согласно которой гены выполняют свои функции, контролируя синтез ферментов и других белков. Если по какой-то причине изменится ген, то должен измениться и белок, синтезом которого он управляет. Это знаменитая гипотеза «один ген — один фермент». Она утверждает, что каждый ген управляет синтезом одного определенного фермента, а контроль генотипа над фенотипом осуществляется через контроль структуры ферментов со стороны отдельных генов.

До сих пор, обсуждая генетические проблемы, мы говорили о структурах, которые видны в микроскоп. Для молекулярной биологии это не годится — мы ведь стремимся к тому, чтобы понять поведение живых организмов на молекулярном уровне. Поэтому теперь мы должны задать себе такой вопрос: а что же представляет собой ген на молекулярном уровне?

Если гены действительно составлены из молекул, то можно предсказать, какими свойствами должны обладать эти молекулы. Во-первых, они должны обладать способностью к самовоспроизведению, причем необычайно точному. Впрочем, точность эта не должна быть абсолютной, поскольку мы считаем, что изменчивость растений и животных, лежащая в основе происхождения новых видов, объясняется как раз случайными ошибками в самовоспроизведении гена — так называемыми мутациями. Во-вторых, интересующие нас молекулы должны играть роль хранителей информации. В-третьих, они должны обладать способностью использовать эту информацию для прямого или косвенного управления синтезом ферментов. Иными словами, здесь должно быть что-то вроде телеграфной ленты, которая поступает в телетайп и превра-

щается в письменное сообщение. Итак, у молекул, которые мы ищем, оказывается много вполне четких примет.

Поскольку гены являются частью хромосом, то для начала не мешало бы разузнать, что известно насчет химического состава хромосом. Как показали химики, хромосомы состоят главным образом из белков и нуклеиновых кислот. Очевидно, среди этих соединений и следует искать кандидатов на роль способных к самовоспроизведению хранителей информации. Химию белков мы уже обсуждали, а вот о нуклеиновых кислотах речи пока что не было. Давайте теперь и им посвятим немного времени.

Прежде всего нуклеиновые кислоты, подобно белкам, имеют очень большие молекулы, часто они намного больше молекул белков. Во-вторых, молекулы нуклеиновых кислот, как и молекулы белков, имеют вид длинных цепей. Но на этом сходство кончается, поскольку в цепях нуклеиновых кислот роль элементарных звеньев выполняют не аминокислоты, а так называемые *нуклеотиды*, совсем на аминокислоты не похожие. Каждый нуклеотид состоит из трех частей: из молекулы сахара, фосфатной группы и еще одной довольно сложной группы, которую химики называют *азотистым основанием*. Эти основания бывают двух сортов — пуриновые и пиримидиновые. Существует несколько видов нуклеиновых кислот, нам же нужна та, которая входит в состав хромосом. Ее полное химическое наименование звучит несколько громоздко — *дезоксирибонуклеиновая кислота*. Поэтому гораздо легче привилось сокращенное название ДНК. Фосфатная и сахарная группы, чередуясь, образуют главную цепь, от которой в разные стороны отходят пуриновые или пиримидиновые основания. Пуриновые основания могут быть двух сортов — либо аденин, либо гуанин; точно так же имеется два сорта пиримидиновых оснований — цитозин и тимин. Запоминать эти названия совсем не обязательно. Нужно только знать, что всего существует четыре сорта оснований, которые можно обозначить просто начальными буквами их названий — А (аденин), Г (гуанин), Ц (цитозин) и Т (тимин). Относительно структуры оснований заметим только, что пурины (А и Г) больше по размеру — их молекулы содержат две кольцевые группы атомов, пиримидины (Ц и Т) меньше и содержат только по одному кольцу.

Для химиков изучение нуклеиновых кислот всегда было делом нелегким. Много трудностей связано с очисткой. Необычайно длинные молекулы нуклеиновых кислот разламываются на куски даже при простом перемешивании раствора. Если же принять во внимание, что одна молекула может содержать тысячи или даже миллионы атомов, то становится ясно, что точный химический анализ таких молекул представляет задачу невероятно сложную. Более или менее подходящие методы химического анализа нуклеиновых кислот появились совсем недавно, а прежние методы дава-

ли результаты, весьма далекие от истины. Так, например, когда я еще учился в школе, нам говорили, что четыре вида оснований встречаются в нуклеиновых кислотах в равных количествах, т. е. в отношении 1:1:1:1. Теперь же точно установлено, что это совершенно не так.

Определенно можно сказать, что в те далекие времена — а для молекулярной биологии тридцатые годы это вообще времена доисторические — ДНК казалась весьма неподходящим кандидатом на роль носителя биологической информации. Судя по первым анализам, это была довольно «тупая» молекула, в которой четыре основания, представленные в равных количествах, повторялись вдоль цепи в неизменной последовательности. Многие думали тогда, что ДНК служит всего-навсего подпоркой для хромосомного белка. Сам белок считался куда более подходящим претендентом на роль носителя информации: почти нигде не повторяющаяся последовательность из двадцати разных аминокислот великолепно могла бы хранить в себе соответствующим образом закодированную информацию.

И вдруг этим воззрениям, которых придерживались большинство биологов, наносится неожиданный удар. Именно так можно расценить результаты экспериментов, выполненных в середине сороковых годов [XX в.] и относящихся к странному явлению, названному трансформацией бактерий. Эти эксперименты показали, что наследственность многих микроорганизмов, в частности пневмококков (возбудителей пневмонии), может изменяться под действием ДНК. Проще говоря, сделали вот что: из определенного вида пневмококков, которую мы условно назовем штаммом А, вывели чистую нуклеиновую кислоту и стали смотреть, как она воздействует на клетки пневмококков другого штамма — штамма В. Итак, ДНК штамма А проникла в клетки бактерий штамма В — и тут произошло настоящее чудо! Оказалось, что потомство бактерий штамма В и все последующие поколения превратились в бактерии штамма А. Другими словами, наследственные признаки организма можно при желании изменить, вводя ему химически чистую ДНК другого организма, не содержащую — и это особенно важно — никаких примесей белка. Отсюда следует, что по крайней мере у бактерий именно ДНК ответственна за передачу наследственной информации. Все более поздние работы показали, что то же самое верно и для других организмов; носителем информации в живых клетках неизменно оказывается ДНК¹.

Этот замечательный эксперимент и другие аналогичные эксперименты сконцентрировали внимание исследователей на ДНК. Не последнюю роль они сыграли и в судьбе двух моих коллег,

¹ У некоторых вирусов носителем наследственной информации служит другая нуклеиновая кислота — рибонуклеиновая кислота.

Джима Уотсона и Фрэнсиса Крика, тоже увлекшихся проблемой ДНК. Подобно тому как солнечные лучи, если их сфокусировать, могут вызвать пожар, так и эта фокусировка интереса исследователей на ДНК также привела, фигурально выражаясь, к пожару, преобразившему всю биологию.

В этой главе мы рассказали о том, как биологи в конце концов пришли к открытию роли нуклеиновых кислот, которые в живых клетках служат хранителями информации, передаваемой из поколения в поколение, от родителей к потомству. Как только эта роль нуклеиновых кислот проявилась, возникла насущная потребность в изучении структуры нуклеиновых кислот, которая, возможно, помогла бы понять, как нуклеиновые кислоты выполняют свои три важнейшие функции: самовоспроизведение, хранение информации и реализацию этой информации в процессе роста новых клеток.

Глава 6. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ — МОЛЕКУЛЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

В главе 5 мы установили, что наследственная информация, хранящаяся в каждой клетке и передаваемая от поколения к поколению, заключена в клеточном ядре, в хромосомах. Элементы информации, ответственные каждый за синтез одного определенного белка, называются *генами*. Хромосомы состоят из белка и нуклеиновой кислоты (ДНК), но непосредственным носителем информации служат только ДНК. Мы познакомились с химической формулой ДНК: молекула ДНК представляет собой длинную цепь чередующихся сахарных и фосфатных групп, причем к каждой сахарной группе прикреплена еще боковая цепь — одно из четырех возможных оснований. Точно так же, как химическая формула белка мало что говорит о его функции, так и формула нуклеиновой кислоты представляет собой недостаточно полный символ, по которому нельзя судить, как проходит самовоспроизведение ДНК и как хранится информация.

И снова, как и раньше, естественным образом возникает вопрос: каково же взаимное пространственное расположение атомов в молекуле ДНК? Здесь опять-таки приходится обращаться за помощью к рентгеновской кристаллографии. В волокнах очищенной ДНК длинные молекулы ориентированы, как стебельки в пучке соломы. Примерно так же упакованы длинные тонкие молекулы кератина волос. Значит, если волокно ДНК поместить на пути пучка рентгеновских лучей, то должна получиться рентгенограмма, сходная по характеру с рентгенограммой волоса. Первая рентгенограмма ДНК была получена Астбюри в середине тридцатых годов [XX в.]. Снимок получился сильно размытым. Конечно, определить по такому снимку структуру ДНК — задача совер-

шенно безнадежная. Тем не менее и сам Астбюри, и другие исследователи пытались это сделать. И хотя некоторые из них (особенно Астбюри), как потом выяснилось, находились на верном пути, сделанные ими выводы были неубедительны, и проблема долгие годы оставалась нерешенной.

Так продолжалось до начала пятидесятых годов. Примерно к этому времени относятся два очень важных экспериментальных достижения, заставивших совсем по-иному смотреть на структуру и роль ДНК.

Первое из них связано с именем Э.Чаргаффа. Вы помните, что тогда почти ничего не знали о количественном соотношении между основаниями, входящими в состав ДНК; считалось даже, что они представлены в равном количестве. Заслуга Чаргаффа состоит в том, что он первый получил по-настоящему чистые образцы ДНК и сделал очень аккуратный анализ относительного числа оснований в каждом образце. Он обнаружил, что процентное содержание четырех оснований — А, Г, Ц и Т — от вида к виду довольно сильно меняется, так что, вообще говоря, содержание в ДНК разных оснований далеко не одинаково. Кроме того, были открыты две весьма замечательные закономерности, которые вместе составляют так называемые правила спаривания оснований (правила Чаргаффа): из какого бы организма ни была выделена ДНК и как бы сильно процентный состав оснований ни отличался от предполагавшегося ранее отношения 1:1:1:1, количество А всегда равно количеству Т, а количество Г — количеству Ц. Вы, должно быть, помните, что А и Г — это пурины, содержащие два кольца атомов, а Ц и Т — пиримидины, содержащие по одному кольцу. Следовательно, равными оказываются количества «больших» и «малых» оснований: число А («большие» основания) равно числу Т («малые» основания); число Г («большие») равно числу Ц («малые»). В то время открытые закономерности были необъяснимы, но в конечном счете именно они послужили ключом к разгадке структуры ДНК.

Вторым не менее важным достижением мы обязаны М.Уилкинсу и Р.Франклин совместно с их сотрудниками. Им удалось сильно повысить качество рентгенограмм, получаемых от волокон ДНК. В этом вы сами можете легко убедиться. Сходство двух рентгенограмм не вызывает сомнений, но на новом снимке на месте размытых пятен имеется много четких рефлексов. С таким снимком кристаллографы вполне согласятся работать.

Таковы были эти новые экспериментальные факты. Ими блестяще воспользовались Дж.Уотсон и Ф.Крик. Уотсон, которому в ту пору (1953 г.) было только 24 года, приехал из Америки в Кембридж, в нашу лабораторию, и должен был вместе со мной заниматься изучением структуры белка. Но белком он так почти и не занимался. Как он сам первый признал, это была для него

чересчур тяжелая работа. Я, конечно, на этом потерял, но зато много выиграла биология в целом. Крик приехал в нашу лабораторию чуть раньше, и они с Уотсоном подолгу беседовали о том, как важно было бы расшифровать структуру ДНК. Они разглядывали последние рентгенограммы ДНК, обсуждали возможный смысл открытых Чаргаффом правил спаривания оснований, перепробовали чуть ли не все возможные виды моделей. В результате по прошествии всего нескольких недель после одной-двух неудачных попыток разгадка по существу была уже готова! Я даже затрудняюсь объяснить, как они ее нашли, — по-моему, и сами они едва ли смогли бы объяснить. Это было одно из тех прозрений, которые время от времени случаются в науке. Вы можете называть это гениальностью, вдохновением, как хотите. Одно можно сказать: до 1953 года такое прозрение было бы невозможно, поскольку оно целиком зависело от открытия правил спаривания оснований, а также от информации, содержащейся в улучшенных рентгенограммах. Но, как только все эти сведения были добыты, ответ удалось найти в поразительно короткий срок.

Модель структуры ДНК, построенная Уотсоном и Криком, — это двойная спираль; как показано на модели, молекулы ДНК состоят из двух цепей, идущих в противоположных направлениях и закрученных одна вокруг другой наподобие электрических проводов. В результате получается структура, немного напоминающая винтовую лестницу (рис. IX). Ступеньками ее служат пары оснований, скрепленных теми же слабыми водородными связями, с которыми мы уже встречались в альфа-спирали — там, где речь шла о структуре белка. Наиболее существенно в структуре ДНК то, что каждая пара оснований, составляющая ступеньку, обязательно содержит одно большое и одно малое основания, так что встречаются только пары А—Т и Г—Ц. Ступенька не может состоять из двух малых оснований, скажем из Т и Ц, двух Т или двух Ц, так как они не достанут до середины и не смогут соединиться водородной связью. Не может она состоять и из двух больших оснований — А и Г, А и А или Г и Г — не хватит места. Нельзя соединить в пары также А с Ц или Г с Т — это невозможно просто потому, что их химическая структура исключает возможность образования подходящих водородных связей. Таким образом, правила Чаргаффа получают простое объяснение, исходя из структуры: на каждой ступеньке должна быть либо пара А—Т, либо пара Г—Ц, и, следовательно, общее число А должно равняться общему числу Т, а число всех Г — числу всех Ц. Объяснение получилось настолько естественным, что каждый, кто знакомится с деталями предложенной структуры, а в особенности кристаллографы и химики-структурщики, у которых уже наметан глаз на такого типа модели, сразу получают полное удовлетворение. Возникает такое ощущение, будто иначе и не может быть.

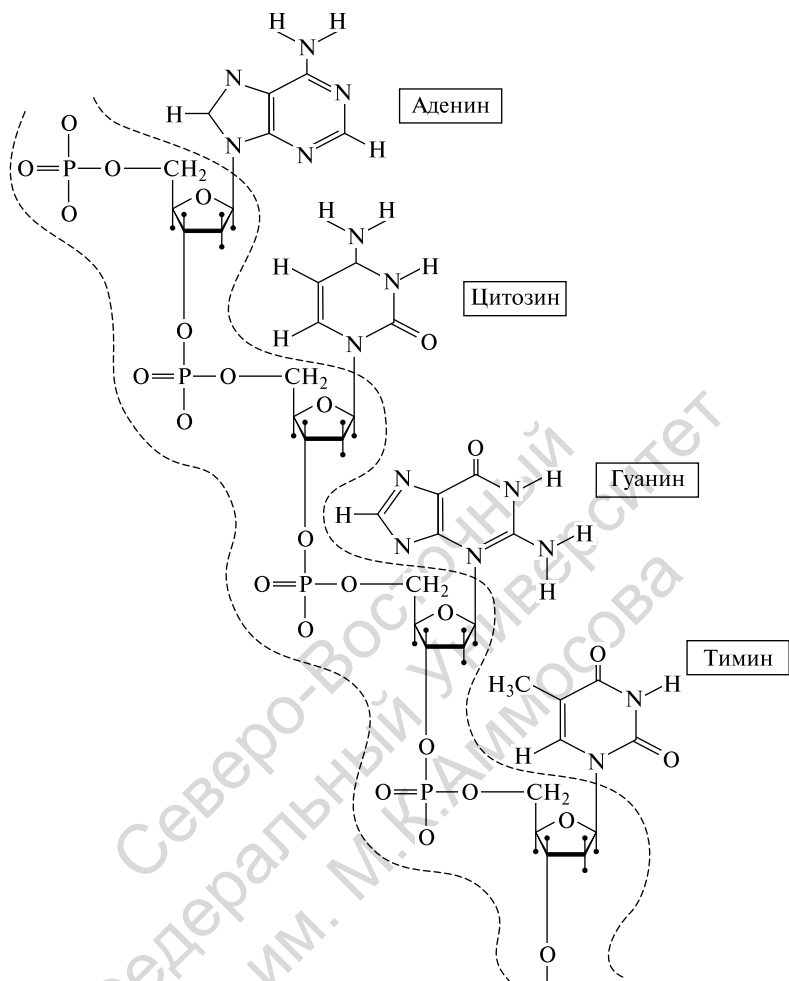


Рис. IX. Структура одноцепочной дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК):

Главная цепь (остов) ограничена двумя волнистыми линиями. Вправо отходят боковые цепи. Всего возможны четыре разновидности боковых цепей, которые чередуются в совершенно нерегулярной последовательности. Watson J. D. *Molecular Biology of the Gene*, New York, Benjamin, Inc., 1965, p. 91 (Дж. Уотсон, Молекулярная биология гена, «Мир», М., 1967)

Имея в руках модель, подобную двойной спирали Уотсона—Крика, вы можете проверять ее тысячами способов. Вы можете рассчитать, какую она должна давать рентгенограмму, и сравнить, насколько результат соответствует экспериментально полученной рентгенограмме. Используя метод проб и ошибок, Уотсон и Крик впоследствии слегка изменили свою модель и получили достаточно удовлетворительное соответствие с данными рентгенострук-

турного анализа, а позднее Уилкинс внес еще кое-какие уточнения, так что теперь соответствие просто превосходное. Но ни одна из внесенных поправок не нарушила великой простоты первоначальной модели. Структура Уитсона—Крика подтверждена теперь во всех подробностях, и мы можем быть совершенно уверены, что в волокнах ДНК расположение цепей носит точно такой характер.

Однако ДНК в волокнах совсем не обязательно должна быть тем же, чем она является в живых клетках. Заранее нельзя сказать, что структура, однозначно установленная для ДНК внутри волокон, описывает состояние молекул ДНК в их биологическом окружении. В последние несколько лет многие биохимики и физикохимики изучали ДНК уже непосредственно в живых клетках, такой, как она есть. За недостатком места мы не будем описывать все эти методы. Скажу только результат: установлено, что обычно в живой клетке ДНК тоже присутствует в виде двойной спирали.

В наши дни электронный микроскоп позволяет непосредственно рассмотреть отдельные молекулы ДНК. Можно видеть короткий участок молекулы ДНК, имеющий в поперечнике две десятимиллионные доли сантиметра. Вот она, настоящая нить жизни. В том, что это действительно так, мы не замедлим убедиться. Сразу же возникает вопрос: каким образом она выполняет свою главную функцию — самовоспроизведение; каким образом получается, что после деления в каждой из дочерних клеток ДНК оказывается идентичной ДНК родительской клетки? Уотсон и Крик предложили смелую и вместе с тем очень простую гипотезу. Они допустили, что спираль ДНК расплетается на две одиночные цепи, а затем из нуклеотидов, свободно плавающих в клетке, формируется вдоль каждой цепи еще одна цепь, причем основания, соединяющиеся с основаниями старой цепи, подбираются в соответствии с правилами Чаргаффа. Легко видеть, что в конечном счете будут построены две одинаковые двойные спирали, идентичные первоначальной (рис. X). Этот процесс можно сравнить с печатанием фотокарточек с негатива. Различие здесь только в том, что в случае ДНК любую цепь можно рассматривать как «негатив» для другой, так что в этом смысле словно бы и нет разницы между позитивом и негативом. Совсем недавно с помощью электронного микроскопа удалось даже заснять ДНК в момент репликации.

Такова была гипотеза. Но биологи сразу заметили, что перед ней неизбежно встанет масса трудностей, проистекающих в первую очередь из громадной длины молекул ДНК. В одной клетке человека вся ДНК, распределенная в 46 хромосомах, содержит что-то около миллиарда пар оснований; ее полная длина достигает едва ли не метра. А если составить цепочку из ДНК всех клеток одного человека, то она, пожалуй, сможет протянуться через всю

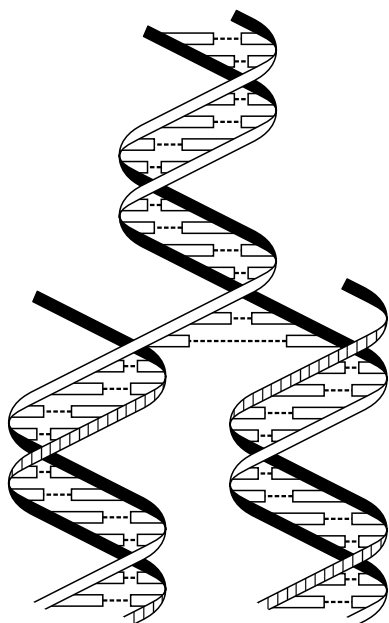


Схема репликации ДНК, согласно Уотсону Крику:

Двойная спираль (в верхней части рисунка) раскручивается, и одновременно вокруг каждой из двух цепей исходной молекулы ДНК формируются новые цепи (внизу). В результате образуются две двойные спирали согласно правилам спаривания оснований, так что новые двойные спирали имеют ту же последовательность оснований, что и исходная молекула ДНК

солнечную систему. И вот почти целый метр ДНК должен быть как-то свернут внутри одной клетки, размеры которой в поперечнике обычно составляют не более тысячной доли сантиметра. Если гипотеза Уотсона — Крика верна, то в процессе репликации вся эта ДНК должна быть раскручена на одиночные нити. Всякий, кто хотя бы раз пробовал расплести длин-

ный шнур, состоящий из двух электрических проводов, сразу же поймет, почему биологи увидели здесь проблему: непонятно, что помешает еще до конца не расплетенной цепи спутаться в безнадельный клубок.

Поэтому было очень важно придумать такой решающий эксперимент, который мог бы служить проверкой предложенной гипотезы. Такой эксперимент задумали и успешно осуществили Меселсон и Сталь. Они выращивали определенный вид бактерий в искусственной среде, содержащей тяжелый азот (азот-15) — изотоп азота, атомы которого тяжелее атомов обычного азота (азот-14). Через некоторое время у этих бактерий весь азот в основаниях ДНК был представлен только тяжелым азотом. Как можно подсчитать, плотность такой ДНК должна почти на 1 % превышать плотность нормальной ДНК. Вырастив достаточное количество бактерий, содержащих тяжелую ДНК, Меселсон и Сталь перенесли их на среду, содержащую обычный легкий азот (азот-14). На новой среде бактерии размножались путем деления, причем теперь для синтеза новой ДНК они могли использовать только легкий азот. Далее проводился анализ ДНК потомства. Что должно было получиться? Если гипотеза Уотсона — Крика верна, то в первом поколении потомство перенесенных бактерий должно содержать, так сказать, «полутяжелую» ДНК, которая легче, чем родительская, но тяжелее обычной, поскольку в каждой молекуле этой ДНК должна была присутствовать одна тяжелая и одна обычная

цепь. Плотность такой ДНК должна примерно на 0,5 % превышать плотность нормальной ДНК. Выделенная ДНК будет представлять собой смесь ДНК двух плотностей. Половина всей ДНК должна иметь нормальную плотность, поскольку ее молекулы будут составлены из двух легких цепей, остальная ДНК будет «полутяжелой», т. е. содержащей по одной легкой и по одной тяжелой цепи.

Вот что предсказывает теория. А как проверить эти предсказания? Для этого надо найти чувствительный метод измерения плотности ДНК, который позволял бы обнаруживать различия в плотности ДНК, составляющие 0,5 или 1 %. Наиболее подходящим оказался метод градиентной колонки. Градиентная колонка — это колонка с жидкостью переменной плотности: на дне плотность жидкости наибольшая, на поверхности наименьшая. Если в такую колонку бросить какой-либо предмет, то он под действием силы тяжести будет погружаться в жидкость до тех пор, пока его средняя плотность не сравняется с плотностью непосредственно прилегающих к нему слоев жидкости. В принципе этим методом можно воспользоваться для того, чтобы отделить тяжелую ДНК от легкой: в колонке они должны располагаться на разной высоте. Но так как различия в плотности здесь очень малы, необходимо повысить чувствительность метода, насколько это возможно; на практике колонку переменной плотности создают путем быстрого вращения в центрифуге раствора какой-нибудь соли. Мы как бы создаем довольно высокую искусственную «силу тяжести». (Примерно так же тренируют космонавтов: чтобы приучить их к большим перегрузкам, их сажают в кресло, которое быстро вращается по кругу большого радиуса.) Соль при вращении стремится сместиться ближе к дну колонки, так что в этом направлении плотность раствора постепенно возрастает. Если в колонку добавить ДНК, то она сместится туда, где плотность раствора совпадает с ее собственной плотностью. Опыты Меселсона и Сталя: сначала показано, где в кювете центрифуги располагается тяжелая ДНК, выделенная из бактерий до их переноса на обычную среду. Бактерии первого поколения, выращенные на среде с легким азотом, содержат ДНК, состоящую наполовину из легких и наполовину из тяжелых цепей, а бактерии второго поколения содержат смесь такой «полутяжелой» и нормальной ДНК. Другими словами, поведение ДНК точно соответствует предсказаниям, сделанным на основе гипотезы Уотсона—Крика. Этот эксперимент по своему содержанию необычайно прост и дает совершенно однозначные результаты — классический пример решающего эксперимента! После того как эти результаты были опубликованы, подавляющее большинство биологов вынуждено было признать, что гипотеза Уотсона—Крика должна быть верна, и хотя до сих пор не вполне ясно, как происходит раскручивание ДНК, нет никаких сомнений, что предложенный

механизм репликации отражает реальные события, происходящие в процессе клеточного деления.

На этом мы заканчиваем наш рассказ о первой функции ДНК — функции самовоспроизведения. Мы видели, как построенная Уотсоном и Криком двуспиральная модель ДНК позволила предсказать способ репликации, а потом мы убедились, что предсказание это подтверждается очень простым и вполне доказательным экспериментом. В следующих двух главах мы рассмотрим две другие функции ДНК. Во-первых, мы обсудим, как ДНК управляет синтезом белков, как наследственная информация преобразуется в структуру ферментов и других белков, синтезируемых в дочерних клетках. И во-вторых, мы постараемся понять, в каком виде информация хранится в самой ДНК, с помощью какого кода она там записана?

Глава 7. ПОСЛАНЦЫ ГЕНОВ

В главе 6 была описана двуспиральная модель ДНК. Мы узнали, как с ее помощью удалось объяснить правила спаривания оснований и рентгенографические данные. Вслед за тем мы увидели, что эта модель автоматически подсказывает нам замечательно простую схему репликации ДНК — процесса, которым сопровождается появление каждого нового поколения. Естественно предположить, что наследственная информация, передаваемая от поколения к поколению, содержится в последовательности основания ДНК, поскольку в остальном молекула ДНК по всей своей длине одинакова, элементы главной цепи ДНК повторяются без каких бы то ни было вариаций. Мы вынуждены предположить, что последовательность оснований А, Г, Ц и Т носит характер закодированного сообщения, которое и заключает в себе наследственную информацию. Проблему конкретных особенностей кода мы отложим до следующей главы. Пока что будем просто считать, что какой-то код действительно существует, а обсуждать будем другую проблему — проблему выражения закодированной информации. Нас будет интересовать способ, посредством которого наследственная информация управляет развитием клеток потомства, — способ воплощения в потомстве совокупности признаков, определяющих данный вид.

Принимая во внимание гипотезу «один ген — один фермент», а также учитывая то обстоятельство, что ДНК содержит линейную последовательность оснований, а белок представляет собой линейную последовательность аминокислот, мы можем сформулировать проблему иначе: как последовательность оснований ДНК, содержащейся в хромосомах, преобразуется в последовательность аминокислот множества различных белков, которых в любой клетке насчитывается несколько тысяч?

Прежде чем углубиться в обсуждаемую здесь проблему, я должен буду познакомить вас еще с одним видом нуклеиновых кислот — с рибонуклеиновой кислотой (РНК). Я сожалею, что вынужден осложнять вам жизнь, но что делать? Как я уже говорил в самом начале, жизнь действительно сложна, и мы должны принимать ее такой, как она есть.

РНК (рис. XII) очень похожа на ДНК. Она отличается от ДНК только в двух отношениях. Во-первых, сахар у нее несколько иной — вместо дезоксирибозы она содержит рибозу, но это различие очень

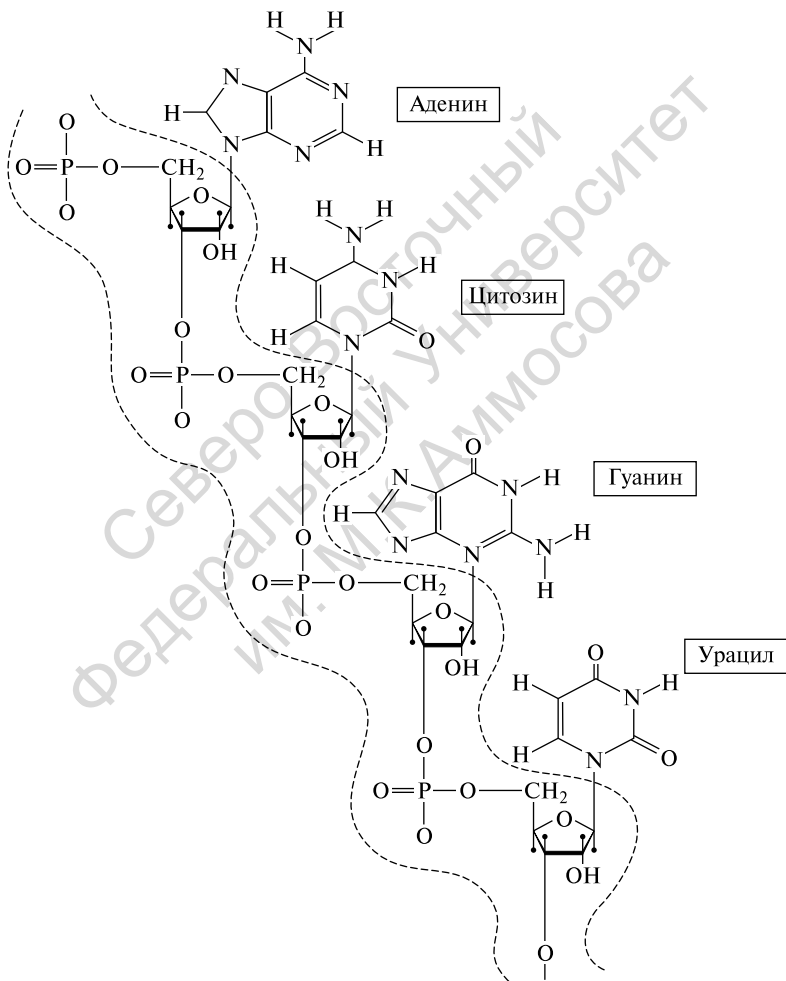


Рис. XII. Структура рибонуклеиновой кислоты (РНК)

Watson J. D. Molecular Biology of the Gene, New York, Benjamin, Inc., 1965, p. 91
(Дж. Уотсон, Молекулярная биология гена, «Мир», М., 1967)

невелико, речь идет всего-навсего об одной гидроксильной группе (ОН) каждого сахарного кольца. Вторая особенность состоит в том, что набор оснований в РНК несколько иной, чем в ДНК. Вместо тимина в РНК появляется новое основание — урацил (сокращенно У). Итак, в РНК содержатся основания А, Г, Ц и У. Урацил химически очень близок тимину; он также относится к классу пиримидинов (с одним кольцом) и, подобно тимину, составляет пару с аденином.

Теперь снова вернемся к синтезу белка. Сравнительно недавно было показано, что в клетке синтез белков в основном происходит не в ядре, где содержатся хромосомы и, следовательно, ДНК, а в цитоплазме. А если так, то ДНК не может непосредственно управлять синтезом белков, поскольку она не там расположена: в ходе синтеза белков ДНК ядро не покидает. Мы вынуждены заключить, что существует какой-то механизм внутриклеточной передачи информации: инструкция, закодированная в ДНК, должна быть передана из ядра в цитоплазму — туда, где идет синтез белка. Недавно выяснилось, что посланцы генов, т.е. молекулы, ответственные за внутриклеточную транспортировку информации и за преобразование этой информации в последовательность аминокислот, — это опять-таки молекулы нуклеиновой кислоты, но уже иной. Я имею в виду РНК, с которой мы только-только познакомились. Как мы помним, передача информации *между* клетками осуществляется с помощью ДНК.

Существует несколько разновидностей РНК. Мы в этой главе рассмотрим три из них: *рибосомную* РНК, *транспортную* РНК и *информационную* РНК, которую также называют *матричной* РНК и *РНК-посредником*.

Теперь посмотрим, где же в действительности синтезируется белок. Местом синтеза служат крошечные частицы — рибосомы, которые в огромном количестве присутствуют в большинстве живых клеток. Обычно они прикреплены к мембранам — тонким перегородкам, образующим внутри цитоплазмы (т.е. вне ядра) густую сеть. Уже довольно давно известно, что белок синтезируется именно в рибосомах. Если клетку мы уподобляем фабрике по производству белков, то рибосомы на этой фабрике выполняют роль сборочных конвейеров. Можно выделить рибосомы из клетки, поставить дополнительное оборудование (ферменты), обеспечить их сырьем и энергией, и тогда их можно будет заставить вести синтез белка в пробирке, однако при том обязательном условии, что к ним поступает нужная информация. Описанная здесь так называемая бесклеточная система оказалась ценнейшим орудием исследования, позволявшим пролить свет на механизм биосинтеза белков.

Рибосомы построены из белка и РНК; эту РНК называют рибосомной. Нужно сразу честно признаться, что мы до сих пор не

знаем, зачем она нужна. Одно время думали, что рибосомная РНК как раз и служит матрицей для синтеза белка. Это означало бы, что код рибосомной РНК соответствует последовательности аминокислот в белке, который синтезируется на данной рибосоме. Однако оказалось, что не так это все просто. Возможно, рибосомная РНК выполняет какую-то структурную роль. Во всяком случае, мы теперь твердо знаем, что *любая* рибосома при наличии нужной информации может делать *любой* белок, причем информация всегда поступает извне и с самой рибосомой не связана.

Информацию переносит РНК другой из упомянутых разновидностей, а именно информационная РНК (или РНК-посредник). Функция этого переносчика информации состоит в том, чтобы извлекать информацию оттуда, где она хранится, и доставлять ее туда, где она используется. Информация извлекается из расположенной внутри ядра ДНК и доставляется в цитоплазму — к рибосомам. Информационная РНК была открыта совсем недавно в результате целого ряда очень остроумных экспериментов, о которых, будь у меня больше места, я бы с удовольствием рассказал. Во многих клетках информационная РНК, по-видимому, весьма неустойчива. Очевидно, в большинстве случаев, как только она выполнит свою работу, сделав несколько молекул белка, она тут же рассыпается на части. Во всяком случае, в каждый данный момент времени количество информационной РНК внутри клетки весьма незначительно. Вот почему даже тогда, когда уже знали, что подобный переносчик информации должен существовать, обнаружить его было очень трудно.

Вся цепь событий, о которых я сейчас собираюсь рассказать, была установлена в результате очень сложных экспериментов, и я простоты ради сразу опишу весь механизм, не останавливаясь на том, каким способом эти сведения были добыты.

Механизм этот поистине замечателен. Информационная РНК образуется в ядре. И строится она так, что ее основания подбираются в соответствии с последовательностью оснований одной из цепей хромосомной ДНК, иными словами, подбираются согласно правилам Чаргаффа. Детали процесса нам не известны, но мы знаем, что он существует на самом деле. Итак, в согласии с правилами Чаргаффа, вставляя всякий раз в пару с аденином урацил вместо тимина, мы получим цепь информационной РНК, последовательность оснований в которой комплементарна одной из цепей ДНК¹. Одна молекула информационной РНК может соответствовать одной или нескольким (очень немногим) молекулам белка. Как только цепь РНК построена, она переходит в цитоплазму и блуждает там до тех пор, пока не найдет какую-нибудь рибосому, к которой она и прикрепляется.

¹ В отличие от ДНК информационная РНК состоит из одной цепи.

Дальше необходимо, чтобы к рибосомам были доставлены аминокислоты, из которых должна строиться полипептидная цепь. Они, конечно, должны быть выстроены в определенном порядке в соответствии с инструкцией, закодированной в информационной РНК. Теперь мы оказываемся перед лицом одной трудности логического порядка: цепочка оснований нуклеиновой кислоты способна «узнавать» другую цепочку оснований (как это происходит при репликации ДНК), но будет игнорировать цепочку аминокислот. Легко понять, как основания «узнают» друг друга — на то и существуют правила спаривания. Но как представить себе химический механизм, с помощью которого последовательность оснований могла бы «узнать» аминокислоту? Для того чтобы найти выход из этого тупика, была выдвинута — задолго до своего подтверждения — гипотеза о существовании специальной адапторной молекулы, которая, так сказать, с одного конца распознает последовательность из нескольких оснований цепи РНК, а другим концом может специфически связывать нужную аминокислоту. Предсказание подтвердилось: адаптор нашли, и оказалось, что это также РНК, а именно транспортная РНК (ее еще называют адапторной или растворимой РНК).

Транспортная РНК отличается от остальных РНК, с которыми мы встречались, тем, что ее молекулы значительно меньше. Они содержат всего по 70 — 80 оснований. Где-то среди них расположена последовательность оснований, комплементарная определенной последовательности оснований в информационной РНК (иначе говоря, эта последовательность транспортной РНК способна «узнавать» соответствующий участок в последовательности информационной РНК). А где-то в другом конце молекулы находится участок, способный «узнавать» определенную аминокислоту.

Отсюда следует, что должно существовать как минимум двадцать разных сортов транспортной РНК — по одной на каждую из двадцати аминокислот. Еще это означает, что имеется двадцать специфических ферментов, управляющих присоединением каждой из аминокислот к своей транспортной РНК. Дело в том, что реакции между транспортной РНК и аминокислотой, как и большинство других реакций, протекающих в живой клетке, в отсутствие фермента не идут. Сразу скажем, что все двадцать видов транспортных РНК и все ферменты были действительно обнаружены в клетке.

В ядре на ДНК формируется информационная РНК. Она поступает в цитоплазму и прикрепляется к рибосоме, а затем за нее цепляются молекулы транспортных РНК, несущие каждая свою аминокислоту. В результате аминокислоты выстраиваются в том порядке, который диктуется последовательностью оснований в РНК-посреднике. Теперь представьте себе, что аминокислоты соединяются друг с другом, и полипептидная цепь готова.

Эта схема может показаться сложной, но согласитесь, что она очень остроумна. В действительности она еще сложнее, чем я вам рассказал; многие детали нам до сих пор неизвестны. Это и неудивительно, ведь вся эта область исследований очень молода, и даже сама информационная РНК была впервые обнаружена только в 1960 году. Я упомянул здесь еще лишь о двух усложнениях.

Прежде всего, структура самих рибосом далеко не проста. Они построены из двух субъединиц разного размера — одна побольше, другая поменьше. А почему это так, мы имеем пока самые смутные представления.

Далее было обнаружено, что рибосомы, активно участвующие в синтезе белка, всегда оказываются связанными в группы по пять-шесть штук, причем все они прикреплены к одной цепи информационной РНК. Эти комплексные структуры, названные *полисомами*, как раз и служат подлинными производителями белка. Можно отделить полисомы от свободных, не объединенных в группы рибосом, и тогда обнаруживается, что синтез белка идет именно в полисомах.

На электронной фотографии полисом явственно видно, как рибосомы связаны очень тонкой нитью. Причем есть все основания считать ее нитью информационной РНК. Здесь мы прямо на фотографии, так сказать во плоти, видим ту удивительную молекулу, существование которой первоначально было выведено всего лишь как неизбежное логическое следствие того факта, что синтеза белка и хромосом в клетке разобщены. Создается впечатление, что одна молекула информационной РНК участвует одновременно в синтезе нескольких молекул белка. Рибосома прикрепляется к информационной РНК с одного конца и «прокладывается» вдоль по цепи до другого конца. Достигнув дальнего конца, она соскальзывает с цепи, и в этот момент в раствор освобождается вновь синтезированная молекула белка.

Суть всей схемы заключается в том, что биологическая информация *одномерна* и может быть записана в виде линейной последовательности. Полипептидная цепь белка представляет собой линейную последовательность аминокислот. Информация записана в нуклеиновых кислотах — как в ДНК, так и в информационной РНК, подобно строке в книге. Однако, как мы помним, большинство белков являются трехмерными объектами, их полипептидные цепи свернуты очень сложным и специфическим образом.

Как же происходит свертывание цепи миоглобина? До сих пор в нашей схеме белку было предоставлено только одно измерение, мы рассматривали его лишь как последовательность аминокислот. Теперь надо решать, является ли свертывание цепи самопроизвольным процессом или клетка содержит информацию не только о последовательности аминокислот в полипептидной цепи, но также о способе ее свертывания по окончании синтеза. Можно

было бы вообразить, что в клетке имеются какие-то специальные трехмерные матрицы — своего рода формы для изготовления трехмерных молекул белка. Но пока что в пользу их существования нет абсолютно никаких данных, хотя таких матриц в каждой клетке должно было бы быть столько же, сколько и белков, т.е. порядка нескольких тысяч. Да и в самом деле едва ли можно себе представить, как такая система могла бы работать. Посмотрите только на модель белка и вам станет ясно, какие сложнейшие проблемы здесь возникают. Взять хотя бы то, что такую модель просто-напросто нельзя было бы извлечь из формы.

Сейчас принято считать, хотя это и не доказано, что белки, синтезированные в виде линейной последовательности, свертываются сами. Иными словами, сложная пространственная конфигурация молекулы белка возникает *самопроизвольно*. Теперь эта простая гипотеза выглядит еще более правдоподобно, поскольку недавно было показано, что молекулы белка (фермента) с искусственно развернутыми цепями, даже в пробирке, где нет ни рибосом, ни нуклеиновых кислот (вообще никаких других компонентов живой клетки), могут снова свертываться нужным образом, так что уже через несколько минут активность фермента восстанавливается.

Тот факт, что полипептидные цепи свертываются самопроизвольно, придает изучению трехмерной структуры белков еще больший интерес, поскольку у нас, таким образом, появляется надежда выяснить правила свертывания цепей с известной последовательностью аминокислот. В дальнейшем, пользуясь этими правилами, мы смогли бы установить трехмерную структуру белка по его аминокислотной последовательности, минуя все тяготы, связанные с применением рентгеноструктурного анализа. Впрочем, я думаю, что пока нам до этого еще очень и очень далеко.

Подведем итоги. Мы описали схему, согласно которой информация, хранимая в ядерной ДНК, считывается в цепь информационной РНК. Эта РНК поступает в цитоплазму, и там в ней прикрепляется одна или несколько рибосом. Рибосомы перемещаются вдоль цепей РНК и по мере своего движения синтезируют белок. Аминокислоты доставляются к этому конвейеру молекулами транспортной РНК и размещаются здесь в определенной последовательности в соответствии с кодом. Расшифровкой этого кода опять-таки ведают молекулы транспортных РНК: место, предназначенное для их аминокислоты, они распознают, отыскивая соответствующий участок в цепи информационной РНК.

Когда в главе 5 мы впервые заговорили о нуклеиновых кислотах как о носителях наследственных признаков любой живой клетки, я сказал, что подобную роль они могут играть только при условии, что им будут присущи три главных свойства: способность к репликации, способность к хранению информации и спо-

способность к управлению синтезом белков. Мы уже обсудили первое и третье свойства. В следующей главе пойдет речь о втором свойстве. Нас будет интересовать соответствие между последовательностью оснований в цепи нуклеиновой кислоты и последовательностью аминокислот в синтезируемой под контролем нуклеиновой кислоты цепи белка. Это и есть так называемая проблема кода. В самое последнее время в этой области были достигнуты огромные успехи, так что у нас в руках имеется почти полное решение проблемы, а ведь всего несколько лет назад она казалась невероятно трудной — никто даже и не надеялся, что узнать это решение суждено уже нашему поколению.

Глава 8. МУТАЦИИ И КОД

В двух последних главах мы просто приняли, что наследственная информация, хранимая в ДНК или РНК, закодирована в них в виде последовательности оснований. Не вдаваясь особенно в детали кода, мы заинтересовались прежде всего тем, как в ходе клеточного деления информация передается от ядра к ядру — это привело нас к схеме репликации ДНК — и, во-вторых, как информация через посредство информационной РНК переносится внутри клетки — из хромосом, находящихся в ядре, в цитоплазму, к рибосомам, где она используется для синтеза цепей со специфической последовательностью аминокислот.

В этой главе мы займемся непосредственно самим кодом, но сначала уделим немного внимания мутациям — этим внезапным изменениям генетического материала, которые ведут к изменениям внешнего вида и функций организма. В свете того, что мы уже знаем, мы, естественно, связываем изменения генетического материала с нарушениями в последовательности оснований ДНК и считаем, что последующие изменения признаков организма обусловлены изменениями в последовательности аминокислот в одном или нескольких его белках. Изменения, вызванные мутацией, иногда едва заметны, а эти, казалось бы, незначительные изменения часто имеют весьма серьезные последствия для организма, в чем мы уже убедились на примере аномальных гемоглобинов. Бывает, что в результате случайной мутации функция белка оказывается полностью нарушенной. В таких случаях организм, как правило, погибает, и тогда мы называем мутацию *летальной* (смертельной). Хотя и очень редко, но возникают также полезные мутации. Обычно такие мутации в процессе естественного отбора закрепляются в последующих поколениях и служат уже признаками нормальной ДНК.

Какими могут быть мутации? Поскольку мы представляем себе наследственную информацию в виде последовательности оснований ДНК, мы можем рассматривать ее как зашифрованный текст. Тогда мутации будут чем-то вроде обычных опечаток. Я приведу

несколько примеров таких опечаток, возможных в самых обычных фразах, встречающихся, скажем, в газетных статьях и объявлениях.

ОЖИДАЕТСЯ ПРОХЛАДНАЯ ПОГОДА С ЗАМОРОЗКАМИ НА ПОЧТЕ

Опечатку такого рода можно назвать *замещением*: здесь нужная буква замещена неправильной.

ОТПРАВЛЕНИЕ ПОЕЗДА В ДЕСЯТЬ ЧАСОВ УТРА ПО НЕЧЕСТНЫМ ЧИСЛАМ

Здесь вставлена лишняя буква; назовем такую ошибку *вставкой*.

В ДОМЕ КУЛЬТУРЫ СОСТОИТСЯ ОКЛАД НА ТЕМУ

А тут, наоборот, буква пропущена; такую ошибку принято называть *делецией*.

ЧЕЛНЫ УЧЕНОГО СОВЕТА ОСВЕЩАЮТСЯ ПО ПОНЕДЕЛЬНИКАМ

В данном случае часть текста напечатана в обратном порядке (переставлены две соседние буквы), это *инверсия*.

И наконец, сбой в наборе может породить полную бессмыслицу. Мы будем называть такие ошибки *нонсенсами*:

ПРОГРАММЫ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ ПЕРЕДАЧ ИНРГДХ ГПТ ИЮР УНСМ

Надо вам сказать, что точно такого же характера опечатки встречаются и в генетическом материале живых организмов, и те названия, которые я им дал, взяты из лексикона генетиков, занимающихся изучением мутаций. В этой главе мы будем вести речь о трех видах мутаций.

Как возникают мутации? В наши дни почти каждый знает, что мутации могут быть вызваны радиацией. К нашему несчастью, мы из собственного опыта знаем о генетических последствиях ядерных взрывов. Среди встречающихся в природе мутаций многие обусловлены слабой радиацией. Действию такой слабой радиации — хотим мы того или нет — мы постоянно подвергаемся. Эта радиация совершенно не связана с испытаниями ядерного оружия. Правда, иногда она тоже обусловлена деятельностью человека. Речь идет, например, о различных рентгенологических обследованиях, радиоактивном излучении. Радиоактивны многие минералы, космические лучи, приходящие к нам из мирового пространства, тоже составляют один из видов радиации. Даже непосредственно в составе нашего тела небольшая доля атомов всегда радиоактивна (так, например, мы все содержим калий, а природный калий всегда слегка радиоактивен).

Мутации могут быть также вызваны химическими соединениями. В частности такое довольно простое соединение, как азотистая кислота, оказывает действие на некоторые основания, превращая, например, цитозин в урацил, что ведет к мутации, которую мы называли *замещением*. Соединения другого класса — акри-

дины — могут иногда приводить к появлению в последовательности дополнительного основания (*вставки*) или, наоборот, к выпадению основания — мутация, названному нами *делецией*.

Я упоминаю об этом потому, что среди великого множества экспериментов, стоящих за всеми упоминающимися в книге открытиями, изучение мутаций — естественных и искусственных — сыграло, пожалуй, главную роль. В частности мутации сыграли важную роль при изучении генетического кода, которым мы теперь и займемся.

Генетический код можно считать чем-то вроде азбуки Морзе. В азбуке Морзе имеются три символа — точка, тире и пустой промежуток (отделяющий соседние буквы). Код нуклеиновых кислот содержит четыре символа: А, Г, Ц и Т (или в РНК — А, Г, Ц, и У).

Трудность изучения кода состоит в том, что мы не умеем прямо определять последовательность оснований в нуклеиновых кислотах, как это удастся сделать для последовательности аминокислот в белках¹. Если бы мы умели определять последовательность оснований в нуклеиновых кислотах, то тогда можно было бы выделить информационную РНК, ведущую синтез определенного белка, установить последовательность оснований в этой РНК и последовательность аминокислот в белке, а затем выписать обе последовательности рядом, и весь код будет перед нами как на ладони. Но раз мы не можем сделать этого прямо, приходится идти круглым путем.

Прежде всего требуется выяснить «кодовое число», иными словами, узнать, сколько символов необходимо для кодирования одной аминокислоты. В азбуке Морзе кодовое число непостоянно, оно меняется от буквы к букве. Некоторые буквы обозначают одним символом, скажем, одна точка обозначает букву Е (кодовое число равно единице); буква М обозначается двумя символами — тире, тире (кодовое число два). Максимальное кодовое число у буквы Э: оно равно пяти (букву Э обозначают символами точка, точка, тире, точка, точка).

Что касается генетического кода, то здесь нам ясно, что кодовое число должно быть больше двух, так как в противном случае с помощью четырех символов мы могли бы составить только $4 \times 4 = 16$ возможных комбинаций. Следовательно, кодовое число

¹ Недавно проф. Холи с сотрудниками установил полную последовательность оснований в одном из видов транспортных РНК, а советский ученый А.А.Баев установил последовательность оснований в другой транспортной РНК (вы помните, что всего их не меньше 20, по числу аминокислот). Это поистине великолепные достижения, но следует помнить, что транспортная РНК состоит из сравнительно малых молекул, содержащих всего 77 оснований. В то же время природная ДНК — молекула необычайно длинная, содержащая 1 млн и больше оснований; мы еще очень далеки от того, чтобы определять последовательность оснований в такой молекуле. — *Прим. ред.*

должно быть равно *по меньшей мере* 3; тогда можно получить $4 \times 4 \times 4 = 64$ комбинации, а этого более чем достаточно для обозначения 20 аминокислот. Правда, у нас получится 44 лишних комбинации; как быть с ними? Ну, во-первых, код может быть «вырожденным». На научном жаргоне это слово означает, что одной аминокислоте соответствует несколько различных комбинаций, точно так же, как одно и то же лекарство может идти в продажу под разными названиями. А может быть и так, что все лишние 44 комбинации являются «нонсенсами» и ничего не означают. Наконец, эти комбинации могут выполнять роль знаков препинания, обозначать начало или конец синтеза белка. Легко придумать и другие возможности. Все эти варианты следует иметь в виду при обсуждении любого кода. Нужно еще помнить, что один вариант не исключает другого: может существовать вырожденный код, содержащий к тому же несколько «нонсенсов».

Еще совсем недавно не было никаких экспериментальных данных, с помощью которых можно было бы проверить относящиеся к коду теории. Проблема кода представляла неплохую арену, на которой могли пробовать свои силы некоторые очень хорошие математики, ну и просто любители головоломок. Было предложено несколько решений, но если никто не мог поручиться, что хотя бы одно из них правильно, то в ошибочности некоторых из предложенных кодов сомнений не было.

Просто как пример остроумия предложенных ранее кодов приведу код Гамова — одно из первых всерьез предложенных решений. Этот код состоял из перекрывающихся триплетов и имел ту притягательную особенность, что, естественно, приводил к «магическому числу» 20 (аминокислот, как мы знаем, двадцать). Принцип этого кода иллюстрирует рисунок XV. Как видно из рисунка, каждое основание служит частью сразу трех триплетов, кодирующих три соседние аминокислоты. Однако легко показать, что предложенная схема не может быть правильной. Если вы чуть внимательнее рассмотрите этот код, то увидите, что он налагает на возможные последовательности аминокислот ряд ограничений. Если этот код верен, то некоторые сочетания аминокислот не должны встречаться ни в одном белке. Однако было показано, что никаких подобных ограничений в действительности не существует. Кроме того, в таком случае точковая мутация, которая состоит в замене *одного* основания, должна была бы приводить к изменению сразу *трех* стоящих рядом аминокислот, во всяком случае, не менее чем трех. Но мы уже знаем, что это не так: достаточно напомнить аномальные гемоглобины, в которых изменена только одна аминокислота. Да и вообще аномалии в белках почти всегда сводятся к однократным изменениям последовательности. Следовательно, код Гамова не может служить правильным решением.

А Т Т Г Ц А А Т Ц Г А Ц Ц — — —	
А Т Т	символ первой аминокислоты
Т Т Г	символ второй аминокислоты
Т Г Ц	символ третьей аминокислоты
Г Ц А	символ четвертой аминокислоты
Ц А Т	символ пятой аминокислоты
— — —	и т.д.

Рис. XV. Перекрывающийся триплетный генетический код, предложенный Г. А. Гамовым

Первая аминокислота кодируется первым, вторым и третьим основаниями; вторая аминокислота — вторым и четвертым и т.д. Согласно этой схеме возможно 20 независимых комбинаций, соответствующих 20 аминокислотам. Изменение одного основания, например основания Г (выделено жирным шрифтом), приведет к изменению сразу трех последовательно расположенных аминокислот (в нашем примере второй, третьей и четвертой). Код такого типа накладывает ограничения на возможные последовательности аминокислот. Например, за аминокислотой, кодируемой триплетом АТТ, может следовать только та аминокислота, которой соответствует кодовый символ, начинающийся с ТТ. Неперекрывающиеся коды не связаны с подобными ограничениями¹.

Был предложен еще ряд кодов. Но лишь совсем недавно были получены экспериментальные данные, позволяющие судить не только о природе кода, но и о том, какие конкретно комбинации оснований кодируют каждую аминокислоту. Я намерен описать два типа экспериментов: один дает сведения относительно общего характера кода, а другой устанавливает реальные символы и их значение.

Эксперименты, связанные с выяснением природы кода, будут легче понять, если я заранее скажу правильный ответ. Код состоит из неперекрывающихся триплетов оснований и читается с определенного места в одном направлении. Например, последовательность АГЦТТЦЦГТ... следует читать: АГЦ ТТЦ ЦГТ..., и так до конца гена. Каждый триплет соответствует одной определенной аминокислоте (серину, фенилаланину, аргинину...). Этот результат был получен при изучении мутантных микроорганизмов, возникающих под действием акридина. Как вы помните, обработка акридиновыми красителями приводит либо к появлению в последовательности дополнительного основания (вставка), либо к пропуску основания (делеция); от случая к случаю происходит то вставка, то делеция.

¹ Crick F. H. C. Scientific American. — 1962. — № 10. — P. 66.

Особенно просто прояснить этот эксперимент, обратившись к аналогии с азбукой Морзе. Пусть сообщение начинается со слова

...
K	P	O	C	C	B	O	P	Д	...

(Чтобы сделать аналогию с кодом ДНК возможно ближе, я специально составил слово из букв, для которых требуются три символа, и выбросил пропуски между буквами.)

Теперь предположим, что где-то в середине случайно произошла вставка, например на седьмом месте появилась лишняя точка. Составляя снова символы в группы по три, прочтем текст:

вставлена точка
↓

...	
К	Р	(В	Д)	С	(У	О	(К	Р)	...

Как видите, сразу после вставки символы стали читаться неправильно, и все слово превратилось в бессмысленное сочетание букв. Легко сообразить, что и следующие слова постигнет та же участь, и так до конца сообщения. Если, наоборот, в том же месте произойдет делеция, то мы снова прочтем бессмыслицу. Точно так же и в ДНК однократная вставка или делеция делает генетическое сообщение бессмысленным: в синтезируемой последовательности аминокислот с определенного места пойдет брак. Можно заранее предсказать, что белок, синтезируемый под контролем ДНК, которая была обработана таким способом, утратит свою функцию. Если же без этого белка организм не может существовать, то он погибнет — мутация будет летальной. На практике так и случается: однократные вставки и делеции летальны.

А теперь представим себе, что где-то произошла сначала вставка, а потом, чуть позднее, делеция. Как и прежде, сразу после вставки сообщение превратится в бессмыслицу, но после делеции правильное считывание восстановится и снова пойдет осмысленный текст:

вставлена пропущена
точка точка

↓ ↓

...
К	Р	(В	Д)	С	В	О	Р	Д ..

Если то же произойдет с ДНК, то в белке появятся только две или три неправильные аминокислоты — во всяком случае, не-

много (если, конечно, делеция произойдет недалеко от вставки). Затем в последовательности аминокислоты снова встанут на свои места. Хотя такой белок будет работать хуже обычного, но, по крайней мере, можно надеяться, что совсем из игры он не выйдет. И снова предсказания подтверждаются на практике. Однократная делеция или вставка летальна, но две близко отстоящие мутации, из которых одна — вставка, а другая — делеция, хотя и ухудшают жизнеспособность организма, но в ряде случаев не летальны.

По-настоящему решающий эксперимент был выполнен, когда удалось в один участок ДНК ввести сразу три близко расположенные вставки. Как мы видели, *одна* вставка приводит к появлению бессмыслицы сразу с того места, где она произошла. Можно показать, что и *вторая* вставка, близкая к первой, даст тот же результат. Иными словами, сообщение становится бессмысленным после первой вставки, но вторая вставка (в отличие от делеции) текста сообщения не восстанавливает:

		вставлена точка				вставлена точка						
		↓				↓						
...	K	...	P	...	(B	P)	C	(C)	O	(Г	K)	...

Если же ввести *три* вставки, то после третьей вставки смысл текста восстанавливается:

		вставлена точка		вставлена точка		вставлено тире							
		↓		↓		↓							
...	K	...	P	...	(B	P	Y)	C	B	O	P	Д	...

Подобные ситуации были обнаружены при изучении живых организмов. Оказалось, что *одна* вставка летальна, *две* — тоже летальны, а *три* — не летальны, хотя и оказывают вредный эффект, поскольку короткий участок молекулы белка оказывается измененным.

Как легко убедиться, отсюда с очевидностью следует, что кодовое число должно равняться трем: каждая аминокислота кодируется тремя символами. При кодовом числе, равном четырем, для восстановления смысла текста требовались бы четыре вставки. Итак, результаты проведенных экспериментов почти не оставляли сомнений в том, что код должен быть *триплетным, непрерывающимся и должен считываться по три, начиная с некоторой точки, которую можно было бы рассматривать как начало «предложения»*.

Обратимся теперь ко второй серии экспериментов, имевших целью выяснение действительных кодовых комбинаций. В этих экспериментах использовалась уже упоминавшаяся бесклеточная система. Итак, все компоненты, необходимые для синтеза белка, собраны вместе, в одной пробирке. Сюда входят рибосомы, источник энергии, запас аминокислот, некоторые из транспортных РНК и полный набор необходимых ферментов. Если теперь в пробирку добавить информационную РНК, то начнется синтез белка. Например, можно ввести туда РНК, кодирующую гемоглобин, и в системе начнут в заметном количестве синтезироваться молекулы гемоглобина.

Бесклеточная система, оказавшаяся необычайно полезной при изучении синтеза белка, с неменьшим успехом использовалась и для изучения кода. Было обнаружено, что такая система работает и тогда, когда в нее добавляется искусственный посредник — *синтетическая* РНК с известной последовательностью оснований. В первом из таких экспериментов в качестве посредника была добавлена синтетическая РНК, состоящая целиком из урацила, и «сообщение» читалось так: УУУУ... Оказалось, что в присутствии такой РНК в системе начинается синтез полипептида, состоящего из единственной аминокислоты — фенилаланина; этот полипептид называют полифенилаланином. Поскольку мы уже знаем, что код триплетный, мы можем сделать вывод, что символ УУУ соответствует именно фенилаланину:

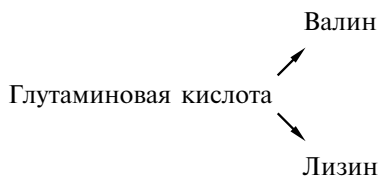
УУУУУУ... → Фен Фен...

Триплет УУУ был первым расшифрованным символом генетического кода. Этот первый успех побудил исследователей к постановке огромного числа подобных же экспериментов с добавлением в систему других синтетических РНК и анализом полученных полипептидов.

Работа была нелегкой отчасти в связи с тем, что бесклеточная система сама по себе очень сложна и никто как следует не знает, как она работает (иногда она вообще отказывается работать). Кроме того, получать синтетические РНК с нужной последовательностью оснований технически довольно сложно. Хотя это чисто химическая проблема, с ее решением тоже приходится довольно туго. Но вопреки всем этим трудностям удалось выяснить смысл почти всех 64 триплетных комбинаций для перевода кода оснований на язык аминокислот.

Кодовые символы, установленные в опытах с бесклеточной системой и искусственными РНК, могут быть выверены совершенно независимым способом. Чтобы пояснить, какие здесь возможны тексты, обратимся снова к аномальным гемоглобинам, в частности к гемоглобину серповидных клеток. Известно, что в этом гемоглобине один остаток глутаминовой кислоты замещен вали-

ном. Далее известно, что совсем другое заболевание крови, распространенное в Западной Африке, связано с замещением в гемоглобине той же самой глутаминовой кислоты на лизин. Наиболее вероятно, что каждое из этих замещений обусловлено мутацией, затрагивающей одно основание хромосомной ДНК. Если это в самом деле так и если наш словарь кодовых слов правилен, то можно с его помощью объяснить превращения



заменой в каждом случае одного основания ДНК. Обращаясь к рисунку XV, мы замечаем, что такая возможность есть:



Сейчас уже известно довольно много аномалий такого рода, которые могут послужить тестами в аналогичных ситуациях. Почти во всех случаях результаты оказываются в согласии со словарем кодовых символов, приведенным на рисунке XV; следовательно, найденные комбинации далеко не случайны. Нет сомнений в том, что этот словарь, по-видимому, почти полностью правилен, и хотя остается еще несколько неясных мест, я уверен, что в скором времени их не будет.

Мы показали, как искусственные мутации помогли установить природу кода — помогли выяснить, что он составлен из триплетов оснований. Мы увидели также, как эксперименты с бесклеточной системой открыли нам реальные кодовые символы. И хотя многое еще остается неясным, у нас есть все основания рассматривать полученные результаты как подлинный триумф молекулярной биологии. Всего несколько лет назад только необыкновенно смелые люди могли предсказать появление такой таблицы в течение ближайших десяти лет.

Кендрию Дж. Нить жизни. — М., 1968.

БИОСФЕРА

Очерк первый

БИОСФЕРА В КОСМОСЕ

Живое вещество в биосфере

19. Биосфера — единственная область земной коры, занятая жизнью. Только в ней, в тонком наружном слое нашей планеты, сосредоточена жизнь. В ней находятся все организмы, всегда резкой, непроходимой гранью отделенные от окружающей их космической материи.

Никогда живой организм в ней не зарождается. Он, умирая, живя и разрушаясь, отдает ей свои атомы и непрерывно берет их из нее, но охваченное жизнью живое вещество всегда имеет свое начало в живом же.

Жизнь захватывает значительную часть атомов, составляющих материю земной поверхности. Под ее влиянием эти атомы находятся в непрерывном, интенсивном движении. Из них все время создаются миллионы разнообразнейших соединений. И этот процесс длится без перерыва десятки миллионов лет, от древнейших археозойских эр до нашего времени, в основных чертах оставаясь неизменным.

На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом. И чем более мы изучаем химические явления биосферы, тем более мы убеждаемся, что на ней нет случаев, где бы они были независимы от жизни. И так длилось в течение всей геологической истории. Древнейшие архейские слои дают косвенные признаки существования жизни: древние альгонкские породы, может быть также и археозойские, сохранили прямые отпечатки и явные следы организмов. Правы ученые (как Шухрет), выделяющие наряду с богатыми жизнью палеозоем, мезозоем, кайнозоем еще и археозой. К нему принадлежат самые древние, нам доступные и нам известные части земной коры. Эти слои оказываются свидетелями древнейшей жизни, которая, несомненно, длится не менее $2 \cdot 10^9$ лет. За это время энергия Солнца не могла заметно меняться, и это вполне совпадает с астрономическими.

20. И даже больше — становится ясным, что прекращение жизни было бы неизбежно связано с прекращением химических изменений, если не всей земной коры, то, во всяком случае, ее поверхности — лика Земли, биосферы. Все минералы верхних частей земной коры — свободные алюмокремниевые кислоты (глины), карбонаты (известняки и доломиты), гидраты окиси железа и алюминия (бурые железняки и бокситы) и многие сотни других непрерывно создаются в ней только под влиянием жизни. Если бы жизнь прекратилась, их элементы быстро приняли бы новые химические группировки, отвечающие новым условиям, старые, нам известные тела безвозвратно исчезли бы. С исчезновением жизни не оказалось бы на земной поверхности силы, которая могла бы давать непрерывно начало новым химическими соединениям.

На ней неизбежно установилось бы химическое равновесие, химическое спокойствие, которое временами и местами нарушалось бы привнесом веществ из земных глубин: газовыми струями, термами или вулканическими извержениями. Но вновь вносимые этим путем вещества более или менее быстро приняли бы устойчивые формы молекулярных систем, свойственные условиям безжизненной земной коры, и дальше не изменялись бы.

Хотя число точек, откуда проникает вещество глубоких частей земной коры, исчисляется тысячами, рассеянные по всей поверхности планеты, они теряются в ее огромности; повторяясь временами, как, например, вулканические извержения, они незаметны в безмерности земного времени.

С исчезновением жизни на земной поверхности шли бы лишь медленные, от нас скрытые изменения, связанные с земной тектоникой. Они проявлялись бы не в наши годы и столетия, а в годы и столетия геологического времени. Только тогда в космическом цикле они стали бы заметны, подобно тому как только в нем выступают радиоактивные изменения атомных систем.

Постоянно действующие силы биосферы — нагревание Солнца и химическая деятельность воды — мало изменили бы картину явления, ибо с прекращением жизни скоро исчез бы свободный кислород и уменьшилось бы до чрезвычайности количество углекислоты, исчезли бы главные деятели процессов выветривания, постоянно захватываемые косной материей и постоянно восстанавливаемые в том же неизменном количестве процессами жизни. Вода в термодинамических условиях биосферы является могучим химическим деятелем, но эта вода *природная*, так называемая *вадозная*, богатая химически активными центрами жизни — организмами, главным образом невидимыми глазу, измененная растворенными в ней кислородом и углекислотой. Вода, лишенная жизни, кислорода, углекислоты, при температуре и давлении земной поверхности в инертной газовой среде явится телом химически малодеятельным, безразличным.

Лик Земли стал бы также неизменен и химически инертен, как является неподвижным лик Луны, как инертны осколки небесных светил, захватываемые притяжением Земли, богатые металлами метеориты и проникающая в небесные пространства космическая пыль.

21. Так, жизнь является великим, постоянным и непрерывным нарушителем химической косности поверхности нашей планеты. Ею в действительности определяется не только картина окружающей нас природы, создаваемая красками, формами, сообществами растительных и животных организмов, трудом и творчеством культурного человечества, но ее влияние идет глубже, проникает в более грандиозные химические процессы земной коры.

Нет ни одного крупного химического равновесия в *земной коре*, в котором не проявилось бы основным образом влияние жизни, накладывающей неизгладимую печать на всю химию земной коры.

Жизнь не является, таким образом, внешним случайным явлением на земной поверхности. Она теснейшим образом связана со строением земной коры, входит в ее механизм и в этом механизме исполняет величайшей важности функции, без которых он не мог бы существовать.

22. Можно говорить о всей жизни, о всем живом веществе, как о едином целом в механизме биосферы, хотя только часть его — зеленая, содержащая хлорофилл растительность — непосредственно использует световой солнечный луч, создает через него фотосинтезом химические соединения, неустойчивые в термодинамическом поле биосферы при умирании организма или при выходе из него.

С этой зеленой частью непосредственно и неразрывно связан весь остальной живой мир. Дальнейшую переработку созданных ею химических соединений представляет все вещество животных и бесхлорофилльных растений. Может быть, только автотрофные бактерии не являются придатком зеленой растительности, но и они генетически так или иначе с ней в своем прошлом связаны.

Можно рассматривать всю земную часть живой природы как дальнейшее развитие одного и того же процесса превращения солнечной световой энергии в действенную энергию Земли. Животные и грибы скопляют такие формы богатых азотом тел, которые являются еще более могучими агентами изменений, центрами свободной химической энергии, когда они — при смерти и разрушении организмов или при выходе из них — выходят из термодинамического поля, где они устойчивы, и попадают в биосферу, в иное термодинамическое поле, где распадаются с выделением энергии.

Можно, следовательно, брать *все живое вещество* в целом, т.е. совокупность всех живых организмов без исключения, как единую, особую область накопления свободной химической энергии в биосфере, превращения в нее световых излучений Солнца.

23. Изучение морфологии и экологии зеленых организмов давно показало, что весь зеленый организм и в своих сообществах, и в своем движении приспособлен прежде всего к исполнению своей космической функции — улавливанию и превращению солнечного луча. Как давно заметил один из крупных натуралистов, глубоко вдумавшийся в эти явления австрийский ботаник И. Визнер, свет влияет на форму зеленых растений много больше, чем теплота: он «как будто лепит их формы, как из пластического материала».

Одно и то же огромной важности эмпирическое обобщение изложено здесь с разных, противоположных точек зрения, сделать выбор между которыми мы сейчас не в состоянии. С одной стороны, ищут причину явления внутри, в автономном живом организме, который *приспособляется* к тому, чтобы улавливать всю световую энергию солнечного луча, обрабатывающем, как инертную массу, зеленый организм, который он освещает.

Очень возможно, что правильное искать причину явления в обоих объектах, но это дело будущего. Сейчас мы должны считаться с самим эмпирическим наблюдением, которое дает, мне кажется, много более, чем это выражено в приведенных представлениях.

Эмпирическое наблюдение указывает нам, что в биосфере видна *неразрывная связь* между освещающим ее световым солнечным излучением и находящимся в ней зеленым живым миром организованных существ.

Всегда существуют в биосфере такие условия, которые обеспечивают световому лучу на его пути встречу с зеленым растением — этим трансформатором носимой им энергии.

Можно утверждать, что такое превращение энергии *нормально* будет происходить с каждым солнечным лучом, и можно рассматривать это превращение энергии как *свойство* живого вещества, как его *функцию* в биосфере.

В тех случаях, когда такой трансформации не происходит и зеленое растение не может исполнять присущей ему в механизме земной коры функции, надо искать объяснения *ненормальности* явления.

Основным выводом *наблюдения* является чрезвычайная автоматичность процесса: нарушение его восстанавливается без всякого участия других объектов, кроме светового солнечного луча и определенным образом построенного и определенным образом живущего зеленого растения. Это восстановление равновесия не произойдет только в том случае, если силы, этому препятствующие, достаточно велики. Восстановление равновесия связано с временем.

24. Наблюдение окружающей природы на каждом шагу дает нам указания на существование в биосфере этого механизма, размышление легко приводит к сознанию его величия и значения.

В общем, вся суша покрыта зеленой растительностью. Обнаженные от зеленой жизни места составляют исключения и теря-

ются в общей картине. В лике Земли, при взгляде из космических пространств, суша должна представляться *зеленой*.

Так же как непрерывно падает на лик Земли поток солнечного света, так же непрерывно растекается по всей поверхности Земли — суши и моря — зеленый аппарат его улавливания и превращения.

Живое вещество — совокупность организмов — подобно массе газа растекается по земной поверхности и оказывает определенное давление в окружающей среде, обходит препятствия, мешающие его передвижению, или ими овладевает, их покрывает.

С течением времени оно неизбежно покрывает весь земной шар своим покровом и только временно может отсутствовать на нем, когда его движение, его охват разрушен и сдерживается внешней силой. Эта неизбежность его всюдности связана с непрерывным освещением лика Земли солнечным излучением, созданием которого является зеленый окружающий нас живой мир.

Это движение достигается путем *размножения организмов*, т.е. автоматического увеличения количества их неделимых частей. Оно, в общем, никогда не прерываясь, идет с определенным темпом во времени, как с определенным темпом падает на лик Земли солнечный луч.

Несмотря на чрезвычайную изменчивость жизни, несомненно, что в комплексах организмов — в живом веществе, да и в отдельных организмах, размножение, рост, т.е. работа превращения ими энергии солнечной в земную, химическую, — все подчиняется неизменным математическим законам. Все учитывается и все приспосабливается с той же точностью, с той же механичностью и с тем же подчинением мере и гармонии, какую мы видим в стройных движениях небесных светил и начинаем видеть в системах атомов вещества и атомов энергии.

Вернадский В. И. Избранные сочинения. — М., 1969. — Т. 5.

НЕСКОЛЬКО СЛОВ О НООСФЕРЕ

1. Мы приближаемся к решающему моменту во Второй мировой войне. Она возобновилась в Европе после 21- годового перерыва, в 1939 г., и длится в Западной Европе пять лет, а у нас, в Восточной Европе, три года. На Дальнем Востоке она возобновилась раньше — в 1931 г. — и длится уже 13 лет.

В истории человечества и в биосфере вообще война такой мощности, длительности и силы — *небывалое явление*. К тому же ей предшествовала тесно с ней связанная причинно, но значительно менее мощная Первая мировая война с 1914 по 1918 г.

В нашей стране эта Первая мировая война привела к новой исторически небывалой *форме государственности* не только в области экономической, но и в области национальных стремлений.

С точки зрения натуралиста (а думаю и историка) можно и должно рассматривать исторические явления такой мощности, как единый большой земной *геологический*, а не только *исторический* процесс.

Первая мировая война 1914—1918 гг. лично в моей научной работе отразилась самым решающим образом. Она изменила в корне мое *геологическое миропонимание*.

В атмосфере этой войны я подошел в геологии к новому для меня и для других и тогда забытому пониманию природы — к геохимическому и к биохимическому, охватывающему и косную и живую природу с одной и той же точки зрения [1].

2. Я провел годы Первой мировой войны в непрерывной научно-творческой работе; неуклонно продолжаю ее в том же направлении и до сих пор.

28 лет назад, в 1915 г., в Российской академии наук в Петрограде была образована академическая «Комиссия по изучению производительных сил» нашей страны, так называемый КЕПС (председателем которой я был), сыгравшая заметную роль в критическое время Первой мировой войны. Ибо для Академии наук совершенно неожиданно в разгаре войны выяснилось, что в царской России не было точных данных о так называемом теперь стратегическом сырье, и нам пришлось быстро сводить воедино рассеянные данные и быстро покрывать недочеты нашего знания.

Подходя геохимически и биогеохимически к изучению геологических явлений, мы охватываем всю окружающую нас природу в одном и том же атомном аспекте. Это как раз — бессознательно для меня — совпало с тем, что, как оказалось теперь, характеризует науку XX в. и отличает ее от прошлых веков. XX век есть век научного атомизма.

Все эти годы, где бы я ни был, я был охвачен мыслью о геохимических и биогеохимических проявлениях в окружающей меня природе (в биосфере). Наблюдая ее, я в то же время направил интенсивно и систематически в эту сторону и свое чтение, и свое размышление.

Получаемые мною результаты я излагал постепенно, как они складывались, в виде лекций и докладов в тех городах, где мне пришлось в то время жить: в Ялте, в Полтаве, в Киеве, в Симферополе, в Новороссийске, в Ростове и других.

Кроме того, всюду — почти во всех городах, где мне пришлось жить, — я читал все, что можно было в этом аспекте, в широком его понимании, достать.

Стоя на эмпирической почве, я оставил в стороне, сколько был в состоянии, всякие философские искания и старался опи-

раться только на точно установленные научные и эмпирические факты и обобщения, изредка допуская рабочие научные гипотезы. Это надо иметь в виду в дальнейшем.

В связи со всем этим в явления жизни я ввел вместо понятия «жизнь» понятие «живого вещества», сейчас, мне кажется, прочно утвердившееся в науке. «Живое вещество» есть совокупность живых организмов. Это не что иное, как научное, эмпирическое обобщение всем известных и легко и точно наблюдаемых бесчисленных, эмпирически бесспорных фактов.

Понятие «жизнь» всегда выходит за пределы понятия «живое вещество» в области философии, фольклора, религии, художественного творчества. Это все отпало в «живом веществе».

3. В гуще, в интенсивности и в сложности современной жизни человек практически забывает, что он сам и все человечество, от которого он не может быть отделен, неразрывно связаны с биосферой — с определенной частью планеты, на которой они живут. Они геологически закономерно связаны с ее материально-энергетической структурой.

В общежитии обычно говорят о человеке как о свободно живущем и передвигающемся на нашей планете индивидууме, который свободно строит свою историю. До сих пор историки, вообще ученые гуманитарных наук, а в известной мере и биологи, сознательно не считаются с законами природы биосферы — той земной оболочкой, где может только существовать жизнь. Стихийно человек от нее неотделим.

И эта неразрывность только теперь начинает перед нами точно выясняться.

В действительности ни один живой организм в свободном состоянии на Земле не находится. Все эти организмы неразрывно и непрерывно связаны — прежде всего питанием и дыханием — с окружающей их материально-энергетической средой. Вне ее в природных условиях они существовать не могут.

Замечательный петербургский академик, всю свою жизнь отдавший России, Каспар Вольф (1733—1794) в год Великой французской революции (1789) ярко выразил это в книге, напечатанной по-немецки в Петербурге «Об особенной и действенной силе, свойственной растительной и животной субстанциям» [2]. Он опирался на Ньютона, а не на Декарта, как огромное большинство биологов в его время.

4. Человечество как живое вещество неразрывно связано с материально-энергетическими процессами определенной геологической оболочки Земли — и ее *биосферой*. Оно не может физически быть от нее независимым ни на одну минуту.

Понятие «биосферы», т.е. «области жизни», введено было в биологию Ламарком (1744—1829) в Париже в начале XIX в., а в геологию Э.Зюссом (1831—1914) в Вене в конце того же века.

В нашем столетии биосфера получает совершенно новое понимание. Она выявляется как *планетное* явление *космического* характера.

В биогеохимии нам приходится считаться с тем, что жизнь (живые организмы) реально существуют не только на одной нашей планете, не только в земной биосфере. Это установлено сейчас, мне кажется, без сомнений пока для всех так называемых земных планет, т.е. для Венеры, Земли и Марса.

5. В биогеохимической лаборатории Академии наук в Москве, ныне переименованной в Лабораторию геохимических проблем, в сотрудничестве с академическим же Институтом микробиологии (директор — член-корреспондент Академии наук Б.Л. Исаченко) мы поставили проблему о *космической жизни* еще в 1940 г. как текущую научную задачу. В связи с военными событиями эта работа была приостановлена и будет возобновлена при первой возможности.

В архивах науки, в том числе и нашей, мысль о жизни как о космическом явлении существовала уже давно. Столетие назад, в конце XVII в., голландский ученый Христиан Гюйгенс (1629—1695) в своей предсмертной работе, в книге «Космотеорос», вышедшей в свет уже после его смерти, научно выдвинул эту проблему. Книга эта была дважды, по инициативе Петра I, издана на русском языке под заглавием «Книга мирозрения» в первой четверти XVIII в. Гюйгенс в ней установил научное обобщение, что «жизнь есть космическое явление, в чем-то резко отличное от косной материи». Это обобщение я назвал недавно «принципом Гюйгенса».

Живое вещество по весу составляет ничтожную часть планеты. По-видимому, это наблюдается в течение всего геологического времени, т.е. геологически вечно.

Оно сосредоточено в тонкой, более или менее сплошной, пленке на поверхности суши в тропосфере — в лесах и в полях — и проникает весь Океан. Количество его исчисляется долями, не превышающими десятых долей процента биосферы по весу, порядка, близкого к 0,25 %. На суше оно идет не в сплошных скоплениях на глубину в среднем, вероятно, меньше 3 км. Вне биосферы его нет.

В ходе геологического времени оно закономерно изменяется морфологически. История живого вещества в ходе времени выражается в медленном изменении форм жизни, форм живых организмов, генетически между собой непрерывно связанных, от одного поколения к другому, без перерыва.

Веками эта мысль поднималась в научных исканиях; в 1859 г. она, наконец, получила прочное обоснование в великих достижениях Ч. Дарвина (1809—1882) и А. Уоллеса (1822—1913). Она вылилась в учение об эволюции видов — растений и животных, в том числе и человека.

Эволюционный процесс присущ только живому веществу. В косном веществе нашей планеты нет его проявлений. Те же самые минералы и горные породы образовывались в криптозойской эре [3], какие образуются и теперь. Исключением являются биокосные природные тела, всегда связанные так или иначе с живым веществом.

Изменение морфологического строения живого вещества, наблюдаемое в процессе эволюции, в ходе геологического времени, неизбежно приводит к изменению его химического состава. Этот вопрос сейчас требует экспериментальной проверки. Проблема эта поставлена нами в план работы 1944 г. совместно с Палеонтологическим институтом Академии наук.

6. Если количество живого вещества теряется перед косной и биокосной массами биосферы, то биогенные породы (т.е. созданные живым веществом) составляют огромную часть ее массы, идут далеко за пределы биосферы.

Учитывая явления метаморфизма, они превращаются, теряя всякие следы жизни, в гранитную оболочку, выходят из биосферы.

Гранитная оболочка Земли есть область былых биосфер. В замечательной по многим мыслям книге Ламарка «Hydrogéologie» (1802) живое вещество, как я его понимаю, являлось создателем главных горных пород нашей планеты. Ж. Б. Ламарк де Монне (1744—1829) до самой смерти не принимал открытий Лавуазье (1743—1794). Но другой крупнейший химик — Ж. Б. Дюма, его младший современник (1800—1884), много занимавшийся химией живого вещества, долго держался представлений о количественном значении живого вещества в строении горных пород биосферы.

7. Младшие современники Ч. Дарвина — Д. Д. Дана (1813—1895) и Д. Ле Конт (1823—1901) — два крупнейших североамериканских геолога (а Дана к тому же минералог и биолог) — выявили еще до 1859 г. эмпирическое обобщение, которое показывает, что эволюция живого вещества идет в определенном направлении.

Это явление было названо Дана *цефализацией*, а Ле Контом — *психозойской эрой*. Д. Д. Дана, подобно Дарвину, пришел к этой мысли, к этому пониманию живой природы во время своего кругосветного путешествия, которое он начал через два года после возвращения в Лондон Ч. Дарвина, т.е. в 1838 г., и которое продолжалось до 1842 г. [4].

Нельзя здесь не отметить, что экспедиция, во время которой Дана пришел к своим выводам о цефализации, о коралловых островах и т.д., фактически исторически тесно связана с исследованиями Тихого океана — океаническими путешествиями русских моряков, главным образом Крузенштерна (1770—1846).

Изданные на немецком языке, они заставили американца Джона Рейнольдса (адвоката) добиваться организации такой же амери-

канской первой морской научной экспедиции. Он начал добиваться этого в 1827 г., когда появилось описание экспедиции Крузенштерна на немецком языке. Только в 1838 г., через одиннадцать лет, благодаря его настойчивости эта экспедиция состоялась. Это была экспедиция Уилькиса (Wilkes), окончательно доказавшая существование Антарктики.

8. Эмпирические представления о направленности эволюционного процесса — без попыток теоретически обосновать — идут глубже, в XVIII в. Уже Бюффон (1707—1788) говорил о царстве человека, в котором он живет, основываясь на геологическом значении человека.

Эволюционная идея была ему чужда. Она была чужда и Л. Агассицу (1807—1873), введшему в науку идею о ледниковом периоде. Агассиц жил уже в эпоху бурного расцвета геологии. Он считал, что геологически наступило царство человека, но из богословских представлений высказывался против эволюционной теории. Ле Конт указывает, что Дана, стоявший раньше на точке зрения, близкой к Агассицу, в последние годы жизни принял идею эволюции в ее тогда обычном, дарвиновском понимании. Разница между представлениями о психозойской эре Ле Конта и цефализации Дана исчезла.

К сожалению, в нашей стране особенно это крупное эмпирическое обобщение до сих пор остается вне кругозора биологов.

Правильность принципа Дана (психозойская эра Ле Конта), который оказался вне кругозора наших палеонтологов, может быть легко проверена теми, кто захочет это сделать, по любому современному курсу палеонтологии. Он охватывает не только все животное царство, но ярко проявляется и в отдельных типах животных.

Дана указал, что в ходе геологического времени, говоря современным языком, т. е. на протяжении двух миллиардов лет по крайней мере, а наверно много больше, наблюдается (скачками) усовершенствование — рост — центральной нервной системы (мозга), начиная от ракообразных, на которых эмпирически и установил свой принцип Дана, и от моллюсков (головоногих) и кончая человеком. Это явление и названо им цефализацией. Раз достигнутый уровень мозга (центральной нервной системы) в достигнутой эволюции не идет уже вспять, только вперед.

9. Исходя из геологической роли человека, А. П. Павлов (1854—1929) в последние годы своей жизни говорил об антропогенной эре, нами теперь переживаемой. Он не учитывал возможности тех разрушений духовных и материальных ценностей, которые мы сейчас переживаем вследствие варварского нашествия немцев и их союзников, через десять с небольшим лет после его смерти, но он правильно подчеркнул, что человек на наших глазах становится могучей геологической силой, все растущей.

Эта геологическая сила сложилась геологически длительно, для человека совершенно незаметно. С этим совпало изменение (материальное прежде всего) положения человека на нашей планете.

В XX в. впервые в истории Земли человек узнал и охватил всю биосферу, закончил географическую карту планеты Земли, расселился по всей ее поверхности. Человечество своей жизнью стало единым целым. Нет ни одного клочка Земли, где бы человек не мог прожить, если бы это было ему нужно. Наше пребывание в 1937—1938 гг. на плавучих льдах Северного полюса это ярко доказало. И одновременно с этим, благодаря мощной технике и успехам научного мышления, благодаря радио и телевидению, человек может мгновенно говорить в любой точке нашей планеты с кем угодно. Перелеты и перевозки достигли скорости нескольких сотен километров в час, и на этом они еще не остановились. Все это результат цефализации Дана (1856), роста человеческого мозга и направляемого им его труда.

В ярком образе экономист Л. Брентано иллюстрировал планетную значимость этого явления. Он подсчитал, что, если бы каждому человеку дать один квадратный метр и поставить всех людей рядом, они не заняли бы даже всей площади маленького Боденского озера на границе Баварии и Швейцарии. Остальная поверхность Земли осталась бы пустой от человека. Таким образом, все человечество, вместе взятое, представляет ничтожную массу вещества планеты. Мощь его связана не с его материей, но с его мозгом, с его разумом и направленным этим разумом его трудом.

В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление.

10. Геологический эволюционный процесс отвечает биологическому единству и равенству всех людей — *Homo sapiens* и его геологических предков *Sinanthropus* и др., потомство которых для белых, красных, желтых и черных рас — любым образом среди них всех — развивается безостановочно в бесчисленных поколениях. Это закон природы. Все расы между собой скрещиваются и дают плодовитое потомство [5].

В историческом состязании, например в войне такого масштаба, как нынешняя, в конце концов побеждает тот, кто этому закону следует. Нельзя безнаказанно идти против принципа единства всех людей как закона природы. Я употребляю здесь понятие «закон природы», как это теперь все больше входит в жизнь в области физико-химических наук как точно установленное эмпирическое обобщение.

Исторический процесс на наших глазах коренным образом меняется. Впервые в истории человечества интересы народных масс всех и каждого — и свободной мысли личности определяют жизнь человечества, являются мерилom его представлений о справедливости.

вости. Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого.

Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть «ноосфера».

11. В 1922—1923 гг. на лекциях в Сорбонне в Париже я принял как основу биосферы биогеохимические явления. Часть этих лекций была напечатана в моей книге «Очерки геохимии» [6].

Приняв установленную мною биогеохимическую основу биосферы за исходное, французский математик и философ бергсониец Е. Леруа в своих лекциях в Коллеж де Франс в Париже ввел в 1927 г. понятие *ноосферы* [7] как современной стадии, геологически переживаемой биосферой. Он подчеркивал при этом, что он пришел к такому представлению вместе со своим другом, крупнейшим геологом и палеонтологом Тейяром де Шарденом, работающим теперь в Китае.

12. Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше. Перед ним открываются все более и более широкие творческие возможности. И может быть, поколение моей внучки уже приблизится к их расцвету.

Здесь перед нами встала новая загадка. Мысль не есть форма энергии. Как же может она изменять материальные процессы? Вопрос этот до сих пор научно не разрешен. Его поставил впервые, сколько я знаю, американский ученый, родившийся во Львове, математик и биофизик Альфред Лотка [8]. Но решить его он не мог.

Как правильно сказал некогда Гёте (1749—1832), не только великий поэт, но и великий ученый, в науке мы можем знать только, *как* произошло что-нибудь, а не *почему* и *для чего*.

Эмпирические результаты такого «непонятного» процесса мы видим кругом нас на каждом шагу.

Минералогическая редкость — самородное железо — вырабатывается теперь в миллиардах тонн. Никогда не существовавший на нашей планете самородный алюминий производится теперь в любых количествах. То же самое имеет место по отношению к почти бесчисленному множеству вновь создаваемых на нашей планете искусственных химических соединений (биогенных культурных минералов). Масса таких искусственных минералов непрерывно возрастает. Все стратегическое сырье относится сюда.

Лик планеты — биосфера — химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно. Меняется человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее приподные воды.

В результате роста человеческой культуры в XX в. все более резко стали меняться (химически и биологически) прибрежные моря и части Океана.

Человек должен теперь принимать все больше и больше меры к тому, чтобы сохранить для будущих поколений никому не принадлежащие морские богатства. Сверх того, человеком создаются новые виды и расы животных и растений.

В будущем нам рисуются как возможные сказочные мечтания: человек стремится выйти из предела своей планеты в космическое пространство. И, вероятно, выйдет.

В настоящее время мы не можем не считаться с тем, что в переживаемой нами великой исторической трагедии мы пошли по правильному пути, который отвечает ноосфере.

Историк и государственный деятель теперь подходят к охвату явлений природы с этой точки зрения.

13. *Ноосфера* — последнее из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории — состояние наших дней. Ход этого процесса только начинает нам выясняться из изучения ее геологического прошлого в некоторых своих аспектах.

Приведу несколько примеров. Пятьсот миллионов лет тому назад, в кембрийской геологической эре, впервые в биосфере появились богатые кальцием скелетные образования животных, а растений — больше двух миллиардов лет тому назад. Это кальциевая функция живого вещества, ныне мощно развитая, была одной из важнейших эволюционных стадий геологического изменения биосферы.

Не менее важное изменение биосферы произошло 70 — 110 млн лет тому назад, во время меловой системы и особенно третичной. В эту эпоху впервые создались в биосфере наши зеленые леса, всем нам родные и близкие. Это другая большая эволюционная стадия, аналогичная ноосфере. Вероятно, в этих лесах эволюционным путем появился человек около 15 — 20 млн лет тому назад.

Сейчас мы переживаем новое геологическое эволюционное изменение биосферы. Мы входим в ноосферу. Мы вступаем в нее в новый стихийный геологический процесс — в грозное время, в эпоху разрушительной мировой войны.

Но важен для нас факт, что идеалы нашей демократии идут в унисон со стихийным геологическим процессом, с законами природы, отвечают ноосфере.

Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим.

Примечания В. И. Вернадского

1. Любопытно, что я столкнулся при этом с забытыми мыслями оригинального баварского химика Х. Шёнбейна (1799 — 1868) и его друга, гениального английского физика М. Фарадея (1791 — 1867). В начале

1840-х гг. Шёнбейн печатно доказывал, что в геологии должна быть создана новая область — геохимия, как он ее тогда же назвал.

2. К сожалению, до сих пор оставшиеся после К. Вольфа рукописи не изучены и не изданы. В 1927 г. Комиссией по истории знаний при Академии наук СССР эта задача была поставлена, но не мола быть доведена до конца.

3. Криптозойской эрой я называю, согласно современным американским геологам, например Карлу Шухерту, умершему в 1942 г. (Ch. Schuchert and S. Dunber. A textbook of geology. P. II. N.Y., 1941. — P. 88), тот период, который назывался раньше азойской или археозойской эрой (т.е. безжизненной или древнежизненной). В криптозойской эре морфологическая сохранность остатков организма сходит почти на нет, и они отличаются от кемберия, но существование жизни здесь проявляется в виде органогенных пород, происхождение которых не вызывает ни малейших сомнений.

4. См.: O. Gilman. The life of J. D. Dana. N.Y., 1889. Глава об экспедиции написана в этой книге Ле Контом. Работы Ле Конта «Evolution», 1888 г., я не имел в руках. Он считал это главным своим трудом. В «психозойской эре» он указывает в своей книге «Elements of geology», 5-th, 1915, с. 293, 626. Его автобиография издана в 1903 г.: W. Arnes (Ed.). Autobiography of Joseph Leconte. — London, 1903.

5. Я и мои современники незаметно пережили резкое изменение в понимании окружающего нас мира. В молодости как мне, так и другим казалось — и мы в этом не сомневались, — что человек переживает только историческое время — в пределах немногих тысяч лет, в крайнем случае, десятков тысяч лет.

Сейчас мы знаем, что человек сознательно переживал десятки миллионов лет. Он пережил сознательно ледниковый период Евразии и Северной Америки, образование Восточных Гималаев и т.д. Деление на историческое и геологическое время для нас сейчас сглаживается.

6. В 1934 г. вышло последнее переработанное издание «Очерки геохимии». В 1926 г. появилось русское издание «Биосферы», в 1929 г. — ее французское издание. В 1940 г. вышли мои «Биогеохимические очерки», а с 1934 г. выходят в свет «Проблемы биогеохимии». Третий выпуск «Проблем биогеохимии» сдан в печать в этом году. «Очерки геохимии» переведены на немецкий и японский языки.

7. Слово «ноосфера» составлено из греческого *ноос* — «разум» и *сфера* в смысле оболочки Земли. Лекции Леруа вышли тогда же по-французски в виде книги: E. le Roy. L'exigence idéaliste et la fait d'évolution. Paris, 1927.

8. A. Lotka. Elements of physical biology. — Baltimaurt, 1925. — P. 406.

Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // Русский космизм. — М., 1993. — С. 303 — 311.

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Часть I. ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ И КОНЦЕПЦИИ

Глава 1. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ

1. Экология — ее отношение к другим наукам и значение для человеческой цивилизации

Человек интересовался экологией с практической точки зрения с самых ранних периодов своей истории. В примитивном обществе каждый индивидуум, для того чтобы выжить, должен был иметь определенные знания об окружающей среде, о силах природы, о растениях и животных, которые его окружали. Фактически цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства, позволившие ему изменять среду своего обитания. И теперь, если человечество хочет сохранить свою цивилизацию, оно более чем когда-либо нуждается в достаточно полных знаниях об окружающей среде, поскольку основные «законы природы» действуют по-прежнему; рост населения и расширение возможностей воздействия на среду лишь изменили их относительное значение и усложнили зависимость от них человека.

Подобно всем другим областям знания экология развивалась непрерывно, но неравномерно. Труды Гиппократы, Аристотеля и других древнегреческих философов содержат сведения явно экологического характера. Однако греки не знали слова «экология». Термин этот недавнего происхождения. Он был предложен немецким биологом Эрнстом Геккелем в 1869 г. Многие великие деятели «биологического Возрождения (XVIII — XIX вв.) внесли свой вклад в эту область, хотя название «экология» долгое время не употреблялось. Например, Антон ван Левенгук, более известный как один из первых микроскопистов начала XVIII в., был также пионером в изучении «пищевых цепей» и регулирования численности популяций — двух важных разделов современной экологии. Как самостоятельная наука экология сформировалась приблизительно к 1900 г., но лишь в последнее десятилетие это слово приобрело особую популярность. В наши дни каждый остро осознает важность наук о среде для поддержания и повышения уровня современной цивилизации. Экология быстро становится отраслью науки, теснейшим образом связанной с повсе-

дневной жизнью каждого человека, будь то мужчина, женщина или ребенок.

Слово «экология» образовано от греческого «ойкос», что означает «дом» или «жилище». В буквальном смысле экология — это наука об организмах «у себя дома». Обычно экологию определяют как науку об отношениях организмов или групп организмов к окружающей их среде, или как науку о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания. Поскольку экология занимается преимущественно биологией групп организмов и функциональными процессами на суше, в море и в пресных водах, определение этой области исследований как науки о структуре и функциях природы будет более соответствовать ее современному направлению, причем человечество рассматривается как часть природы. Для последних десятилетий XX в. особенно подходит одно из определений, данных в полном словаре Уэбстера, а именно: «Предмет экологии — это совокупность или структура связей между организмами и их средой». Для «долгосрочного» употребления лучшим определением этого обширного по объему понятия будет, по-видимому, наиболее краткое и наименее специальное, а именно «биология окружающей среды» (*environmental biology*).

Но достаточно определений. Чтобы лучше понять предмет и задачи экологии, рассмотрим отношение этой последней к другим областям биологии и прочим «логиям». В современную эпоху специализации человеческой деятельности естественные связи между различными дисциплинами часто исчезают из нашего поля зрения вследствие обилия сведений в пределах каждой дисциплины (а иногда, как следует с сожалением признать, и вследствие шаблонного преподавания наук в учебных заведениях). Вместе с тем почти любую отрасль знаний можно определить слишком широко, так что предмет ее разрастется сверх всяких разумных пределов. Признанные «области» науки должны иметь признанные границы, пусть даже несколько условные и время от времени подверженные изменениям. Такой сдвиг границ и самого предмета исследований был особенно замечен как раз в экологии в связи с ростом общественного интереса к этой науке. Сейчас слово «экология» для многих означает «совокупность человека и окружающей среды». Но давайте вначале рассмотрим более традиционное, академическое положение экологии в семье наук.

Остановимся вкратце на том, как подразделяется «наука о жизни» — биология. Если представить себе структуру биологии в виде «слоеного пирога», то его можно разрезать на куски двумя разными способами. Можно делить его по горизонтали — тогда мы получим «фундаментальные» науки, изучающие основные, фундаментальные свойства жизни или по крайней мере не ограничивающиеся отдельными группами организмов. Примеры таких наук — морфология, физиология, генетика, теория эволюции, молеку-

лярная биология и биология развития. Мы можем также делить наш «пирог» по вертикали и получим так называемые «таксономические» науки, изучающие морфологию, физиологию, экологию и т.д. определенных организмов. Крупные подразделения этого типа — зоология, ботаника и бактериология, а подразделения, имеющие дело с более узкими группами, — фикология, протозоология, микология, этомология, орнитология и т.д. Экология относится к фундаментальным разделам биологии и как таковая является составной частью каждого и всех таксономических подразделений. Оба подхода полезны. Часто весьма плодотворным оказывается ограничение исследований какой-то одной систематической группы, поскольку различные группы организмов требуют разных методов изучения (нельзя, скажем, изучать орлов теми же методами, что и бактерий) и поскольку некоторые группы организмов в экономическом или другом отношении намного важнее или интереснее для человека, чем другие. Однако коль скоро мы рассматриваем нашу науку как «фундаментальную», мы обязаны сформулировать и обосновать ее общие принципы. В этом и состоит цель первой части настоящей книги.

Вероятно, лучше всего можно определить содержание современной экологии, исходя из концепции уровней организации, которые составляют своего рода «биологический спектр». Сообщество, популяция, организм, орган, клетка и ген — главные уровни организации жизни. Взаимодействие с физической средой (энергией и веществом) на каждом уровне обуславливает существование определенных функциональных систем. Под системой мы подразумеваем именно то, что словарь Уэбстера для студентов определяет как «упорядоченно взаимодействующие и взаимозависимые компоненты, образующие единое целое». Системы, содержащие живые компоненты (биологические системы, или биосистемы), можно выделять на любом из уровней, или на любом промежуточном уровне, удобном или полезном для исследования. Например, мы можем рассматривать не только системы генов, органов и т.д., но также системы паразит — хозяин, что соответствует промежуточному уровню между популяцией и сообществом.

Экология изучает преимущественно те системы, которые расположены в правой части приведенного спектра, т.е. системы выше уровня организмов. Термин популяция (от лат. *populus* — народ), первоначально применявшийся для обозначения групп людей, в экологии приобрел более широкое значение и относится к группе особей любого вида организмов. Точно так же сообщество в экологическом смысле (иногда говорят «биотическое сообщество») включает все популяции, занимающие данную площадь. Сообщество и неживая среда функционируют совместно как экологическая система, или экосистема. Сообществу и экосистеме приблизительно соответствуют часто употребляемые в европейской и

русской литературе термин биоценоз и биогеоценоз¹. Самая крупная и наиболее близкая к идеалу «самообеспечения» биологическая система, известная нам, — это биосфера, или экосфера. Она включает все живые организмы Земли, находящиеся во взаимодействии с физической средой Земли, в результате чего эта система, через которую проходит поток энергии от мощного ее источника, Солнца, и которая переизлучает его в космическое пространство, поддерживается в состоянии устойчивого равновесия.

Отметим, что в приведенном выше «спектре»² нет четких границ или разрывов даже между уровнями организма и популяции. Поскольку мы привыкли, имея дело с людьми и высшими животными, представлять себе особь как конечную единицу, идея непрерывного спектра уровней может на первый взгляд показаться странной. Однако если принять во внимание такие факторы, как взаимозависимость, взаимосвязи и выживание, то и в самом деле здесь нигде не должно быть резких разрывов. Отдельный организм, например, не более способен к длительному существованию вне своей популяции, чем отдельный орган (в качестве самоподдерживающей системы) вне своего организма. Подобно этому, сообщество не может существовать без круговорота веществ и потока энергии в экосистеме.

Одна из причин, почему уровни организации изображены в виде горизонтального, а не вертикального ряда, состоит в том, что ни один из них, в общем, нельзя считать более или менее важным или более или менее заслуживающим изучения, чем какой-либо другой уровень. В этом ряду при движении слева направо некоторые признаки, несомненно, становятся более сложными и более изменчивыми, однако часто упускают из виду, что другие свойства при переходе от малых систем к большим становятся менее сложными и менее изменчивыми. Поскольку гомеостатические механизмы действуют на протяжении всего ряда, функционирование более мелких единиц внутри более крупных характеризуется определенной степенью интеграции. Например, интенсивность фотосинтеза лесного сообщества изменяется в меньшей степени, чем интенсивность фотосинтеза отдельных листьев или деревьев внутри сообщества, поскольку снижение фотосинтеза у одного члена сообщества может уравниваться его усилением у другого и наоборот. Что касается вопроса о специфических признаках, характерных для каждого уровня в отдельности, то нет оснований считать, что какой-то уровень легче или труднее поддается коли-

¹ См.: Сукачев В. Н. Основы теории биогеоценологии. — М., 1947 (в юбилейном сб. АН СССР к 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции); Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В. Н. Сукачева и Н. В. Дылиса. — М., 1964. — *Прим. ред.*

² Теоретически спектр «уровней», подобно спектру излучения или логарифмической шкале, может быть продолжен бесконечно в обоих направлениях.

чественному изучению, чем другие. Например, рост и метаболизм можно успешно изучать на клеточном уровне и на уровне экосистемы, используя различные методы и единицы измерения, соответствующие разным порядкам величин. Кроме того, данные, полученные при изучении какого-либо уровня, помогают изучению другого уровня, но с их помощью никогда нельзя полностью объяснить явления, происходящие на этом другом уровне. Это важное положение, поскольку иногда приходится слышать утверждение, что бесполезно пытаться работать со сложными объектами типа популяций и сообществ, пока полностью не изучены более мелкие единицы. Если довести эту мысль до логического конца, то в таком случае все биологи должны были бы сосредоточить внимание на одном уровне, например клеточном, впредь до разрешения всех связанных с ним проблем и лишь затем переходить к изучению тканей и органов. Такая точка зрения была широко распространена среди биологов до тех пор, пока они не убедились в том, что каждый уровень имеет особенности, которые лишь частично можно объяснить, исходя из особенностей нижележащего уровня. Иными словами, не все свойства более высокого уровня можно предсказать, зная только характеристики, относящиеся к более низкому уровню. Точно так же как нельзя предсказать свойства воды только по свойствам водорода и кислорода, нельзя предсказать и свойства экосистемы на основании сведений об отдельных популяциях. Изучать нужно и лес (целое), и деревья (части этого целого). Фейблмен назвал это важное обобщение «теорией уровней интеграции».

Итак, для эколога особенно важен принцип функциональной интеграции, согласно которому при усложнении структуры возникают дополнительные свойства. Технические достижения последнего десятилетия позволяли осуществить количественные исследования таких больших и сложных систем, какими являются экосистемы. Инструментами такого исследования могут служить изотопные, спектрометрические, колориметрические, хроматографические и другие химические методы, методы дистанционных измерений и автоматического контроля, математическое моделирование, вычислительная техника. Таким образом, техника — обоюдоострое оружие: она может быть средством познания единства человека и природы и средством разрушения этого единства.

2. Подразделение экологии

Экологию иногда делят на аутэкологию и синэкологию. Аутэкология изучает индивидуальные организмы или отдельные виды. Обычно при этом особое внимание уделяется жизненным циклам и поведению как способам приспособления к среде. Синэкология изучает группы организмов, составляющих определенные един-

ства. Так, если, скажем, изучается отношение белого дуба (одного дерева или вида в целом) или американского большого дрозда (одной особи или вида в целом) к среде, то это исследование является по своему характеру аутоэкологическим. Если же изучается лес, в котором растет этот дуб или живет дрозд, то подход будет синэкологическим. В первом случае все внимание сосредоточено на отдельно взятом организме и цель состоит в том, чтобы увидеть, как он вписывается в общую экологическую картину, подобно тому как, рассматривая произведение живописи, можно сконцентрировать внимание на каком-то отдельном фрагменте. Во втором случае рассматривается картина в целом (т.е., если продолжить аналогию с живописью, — изучается композиция).

В соответствии с задачами книги мы разделили предмет экологии тремя способами. В первой части деление на главы проведено в соответствии с концепцией уровней организации, изложенной выше. Мы начнем с экосистемы, поскольку в конечном счете именно этим уровнем мы и должны заниматься; далее мы последовательно рассмотрим сообщества, популяции, виды и отдельные особи. Затем мы снова вернемся к уровню экосистемы и рассмотрим вопросы развития, эволюции и моделирования природы.

Во второй части подразделение идет по типам среды, или местообитания: отдельно рассматриваются экология пресных вод, моря и суши. Хотя фундаментальные принципы везде одни и те же, виды организмов, их взаимоотношения с человеком и методы изучения могут быть для разных условий среды совершенно различными. Рассмотрение местообитаний полезно также для подготовки к полевым экскурсиям и к оформлению материала описаний биоты.

В третьей части рассматриваются различные области практического приложения экологии — природные ресурсы, загрязнение среды, космические путешествия и прикладная экология человека с целью связать основные принципы, рассмотренные выше, с практическими проблемами.

Как и биология в целом, экология может быть подразделена на таксономические ветви, например, экологию растений, экологию насекомых, экологию микроорганизмов, экологию позвоночных. Подобное знакомство с той или иной систематической группой весьма полезно, поскольку при этом сосредоточивается внимание на специфических, уникальных чертах экологии данной группы и на разработке соответствующих тонких методов. Но в целом проблемы, касающиеся только ограниченных групп организмов, мы здесь не рассматриваем.

Выделение отраслей внутри экологии полезно, как и в любой другой науке, поскольку оно облегчает обсуждение и осмысление материала и дает общее направление для целесообразной

специализации в пределах данной области. Как было кратко показано в этом разделе, можно специализироваться на изучении процессов, уровней организации, среды, организмов, практических проблем, внося ценный вклад в общее развитие биологии окружающей среды. <...>

ЧАСТЬ III. ПРИКЛАДНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ

Глава 21. НА ПУТИ К ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА

«Оптимум качества всегда меньше того количественного максимума, который можно поддерживать». «Земля может прокормить больше живых существ, которые бы довольствовались, подобно домашним животным, загрязненной кормушкой, чем человеческих созданий, которым нужна свободная от загрязнения среда обитания, разумная степень личной свободы и разные возможности достижения счастья».

«Лимитирует не энергия сама по себе, а последствия загрязнения, порождаемого эксплуатацией энергии. В настоящее время загрязнение — один из важнейших лимитирующих факторов для человека».

«Человек именно как геологический фактор, а не как представитель животного мира находится под сильным воздействием положительной обратной связи, которой поэтому должна быть противопоставлена отрицательная обратная связь».

Чтобы поддерживать порядок в экосистеме, нужно затрачивать энергию на «откачивание неупорядоченности». Загрязнение и сбор продукции оказывают стрессовые воздействия, увеличивающие стоимость поддержания системы. Чем больше требования мы предъявляем к природе, тем меньше энергии для поддержания остается в природе, и человеку, таким образом, все дороже обходится предупреждение неупорядоченности.

«До сих пор человек существовал в своей среде как паразит, потребляя все, что ему нужно, и не заботясь о благосостоянии своего хозяина (т.е. своей системы жизнеобеспечения)».

Для того чтобы разрешить противоречие между использованием жизненного пространства и сохранением его в оптимальном незагрязненном состоянии, ландшафт следует разделить на части, обеспечив тем самым удовлетворительное равновесие между продуктивными и протективными экосистемами. Ограничения пользования землей и водой — наши единственные средства практически избежать перенаселения, или чрезмерного истощения природных ресурсов, или и того и другого вместе.

Разнообразие — это необходимость, а не только «приправа» к жизни.

Представление о многократном использовании должно стать одной из важных задач общества.

«Всёобщее осознание того, что возможности окружающей среды в отношении ресурсов и жизненного пространства взаимосвязаны, взаимозависимы и ограничены, произвело революционный переворот в наших умонастроениях; это позволяет надеяться, что человек окажется готовым применять в широких масштабах принципы экологической регуляции».

«Одна лишь технология не в силах разрешить дилемму роста населения и загрязнения среды; необходимо привести также в действие моральные, правовые и экономические ограничения, порождаемые глубоким и полным осознанием общественностью того факта, что человек и ландшафт составляют единое целое».

Эти выдержки из разных частей книги сводятся к одному заключению: настало время, когда человек должен управлять своей собственной популяцией так же, как ресурсами, от которых он зависит, потому что впервые за свою недолгую историю он столкнулся с предельными, а не просто с локальными, ограничениями. Таким образом, управление экосистемой и прикладная экология человека стали новыми предметами, которые требуют слияния множества дисциплин и целей, выступавших до настоящего времени независимо друг от друга. Экологические принципы, очерченные в этой книге, составляют, так сказать, основу для теоретической модели, но как именно должна развиваться прикладная экология человека и какие она должна принять формы, чтобы можно было достигнуть действительно высоких целей в реальной обстановке современного мира и общества, — это в настоящее время еще очень туманно.

1. Исторический обзор

Социологи, антропологи, географы и экологи животных первыми проявили интерес к экологии человека. А сейчас представители почти всех дисциплин и профессий в области как естественных, так и общественных наук полны страстного желания найти общую платформу по проблемам экологии человека. Этот краткий обзор истории вопроса мы приводим в качестве основы для того, чтобы наметить вероятные направления развития прикладной экологии человека в будущем. География и антропология всегда уделяли большое внимание воздействию человека на ландшафт. В 1864 г. Марш написал на эту тему классический трактат, озаглавленный «Человек и природа. Физическая география и ее изменение под влиянием человека». Более новая всесторонняя разработка этой темы содержится в книге «Роль человека в изменении лика Земли», изданной У.Л. Томасом младшим.

Часто обсуждаются две противоположные точки зрения о влиянии человеческой культуры на окружающую среду: 1) физическая среда оказывает доминирующее воздействие на культуру и цивилизацию («детерминизм окружающей среды»), о чем свидетельствуют, например, различия в обычаях у обитателей аридных и влажных областей; 2) физическая среда накладывает только слабые ограничения на развитие передовой человеческой культуры, о чем свидетельствует сходство городских цивилизаций в разные времена и в разных природных условиях. Сегодня этот вопрос можно сформулировать иначе: до какой степени непрерывные волнения человека по поводу ухудшения окружающей среды вызваны тем, что он стремится сделать свою культуру слишком независимой от природной среды? Некоторые географы пытались реконструировать окружающую среду прошлого и выяснить влияние на нее человека. Бутцер написал превосходную книгу о географии и экологии плейстоцена, уделив особое внимание отношениям человека и ландшафта доисторического Старого Света. Для Нового Света Зауэр реконструировал экологию коренного населения Карибского бассейна, Центральной Америки и северной части Южной Америки. Беннет рассмотрел влияние человека на зоогеографию Панамы со времен первобытных охотников и собирателей через расцвет и упадок густонаселенной аграрной империи и до наших дней, когда обширные пространства вновь покрылись вторичными джунглями. В этом исследовании документально доказано заметное воздействие, которое производили на окружающую среду обитавшие здесь народы, и показано, что значительные экологические изменения, часто в ущерб человеку, может вызвать не только индустриальное общество и не только в двадцатом веке. Применение огня и одомашнивание растений и животных изменили лик Земли задолго до промышленной революции. Как уже подчеркивалось, одомашнивание освобождает человека от прямой зависимости от дикой природы, но неумение должным образом контролировать своих симбионтов (прежде всего домашние животные, пасущиеся на естественных пастбищах, и пропашные культуры) привело к разрушению продуктивности почвы и растительности на обширных пространствах.

Урбанизация продолжает оставаться в центре внимания социологических исследований, так как население городов растет во много раз быстрее, чем население в целом. Однако лишь недавно социологи стали широко изучать экологическую проблему, которой посвящена эта глава, и начали понимать, что главная беда — ухудшение качества жизненного пространства, а не снабжение энергией или ресурсами. Или, если выразить это иначе: сумеем ли мы сохранить человеческие ценности или утратим их, будет зависеть от того, как мы будем использовать материалы и энергию и как будет планироваться и регулироваться рост населения и ис-

пользование пространства. Архитектор Элиель Сааринен в книге «Город» (1943) приписывает снижение качества среды в городах: 1) замене творческой архитектуры нетворческими нововведениями, которые лишены «органической упорядоченности и соответствия», и 2) чрезмерному вниманию общественности к экономике в ущерб планированию городов. Подобного взгляда придерживается и Я. Макхарг. В контроле качества городской жизни важную роль могли бы сыграть такие показатели, как процент семейных людей, процент разводов, семей без отцов, обеспеченных семей, безработной молодежи, уровень преступности и т.д.; кроме того, важным показателем может служить образовательный ценз жителей. Социологическую дилемму города можно, по-видимому, выразить, сформулировав два его аспекта: 1) город — это венец творения человеческой цивилизации, где неизвестны нужда и раздоры и где человек, укрывшись от неприятных воздействий физической среды, может наслаждаться жизнью, досугом и культурой; 2) город — это грандиозное изменение природы, открывающее тысячи способов разрушения и обеспечения тех основных условий, от которых зависят жизнь и достоинство человека. С точки зрения эколога ситуация 1 будет достигнута только тогда, когда город будет функционировать как интегральная часть общей экосистемы биосферы, а ситуация 2 неизбежна до тех пор, пока города растут в отсутствие каких-либо отрицательных обратных связей или рассматриваются как нечто обособленное от системы своего жизнеобеспечения.

Однако если мы хотим рассмотреть взаимодействие «природных» и «культурных» свойств людей, экология человека должна выйти за рамки общей экологии, так как гибкость поведения, способность контролировать свое непосредственное окружение и стремление к созданию независимой от окружающей среды культуры выражены у человека гораздо сильнее, чем у других организмов.

2. Популяционная экология человека

Если понимать популяционную экологию в широком смысле, то экологию человека можно рассматривать как популяционную экологию очень своеобразного вида *Homo sapiens*. Экология человека как наука шире демографии, занимающейся популяционным анализом населения, так как ее интересуют не только внутренние факторы динамики популяций, но и связи популяции с более крупными структурами и с внешними факторами. Как мы неоднократно подчеркивали, популяции человека, подобно другим популяциям, представляют собой лишь часть биоценозов и экосистем.

Одно из основных отличий популяции человека от других популяций — это степень доминирования, на которую способны

люди как группа. Хотя концепция доминирования довольно ясна и о нем легко рассуждать в общих чертах, его трудно измерить количественно. Человек часто думает, что он на 100 % доминирует над своим окружением, хотя на самом деле это может быть очень далеко от истины. Он может снабжать кондиционированным воздухом свое жилье и рабочие помещения и считать себя при этом независимым от климата, но если он не обеспечит также кондиционированным воздухом свои посевы и домашних животных, он будет оставаться в очень сильной зависимости от жары и холода, засухи и других климатических явлений. Хотя фермеру может казаться, что он полностью управляет своим кукурузным полем, однако вымывание фосфора со склона в океан может происходить с такой скоростью, что с точки зрения своего будущего благополучия фермер не только не управляет полем, но и разрушает его! Здесь уместно сослаться на важность развития гомеостатического контроля и цитаты из Хатчинсона и Леопольда о месте человека в экосистеме и о роли, которую он играет в биогеохимических циклах. Полное доминирование над природой, вероятно, невозможно; оно не было бы ни прочным, ни стабильным, так как человек — очень «зависимый» гетеротроф, который занимает очень «высокое» место в пищевой цепи. Было бы гораздо лучше, если бы человек понял, что существует некая желательная степень экологической зависимости, при которой он должен разделить мир со многими другими организмами, вместо того чтобы смотреть на каждый квадратный сантиметр как на возможный источник пищи и благосостояния или как на место, на котором можно соорудить что-нибудь искусственное. Если поведение человека в самом деле «разумно», то ясно, что человек должен:

- 1) изучить и понять форму собственного популяционного роста;
- 2) определить количественно оптимальные размеры и конфигурацию населения в связи с емкостью данной области, что позволит ему
- 3) быть готовым к принятию «культурной регуляции» там, где «естественная регуляция» недействительна.

Форма роста популяции человека — одна из самых противоречивых проблем. В дискуссиях о «проблеме населения» люди часто обращаются к Т. Мальтусу, чей знаменитый «Опыт о принципах народонаселения» выдержал шесть изданий между 1798 и 1826 г. Мальтус выявил достаточно общий для всех организмов факт, что популяции присуща «положительная обратная связь» в виде способности к экспоненциальному росту. Это не означает, что популяции непременно превысят свои возможности к существованию (запасы пищи). Мальтус не знал о различии между зависящими и не зависящими от плотности факторами, или о том, что первые могут действовать по принципу отрицательной обратной связи, предотвращая перенаселенность. Не мог Мальтус предвидеть, что суммарное использование энергии (не только энергии, заключенной

в пище) и сопутствующее ему загрязнение станут факторами, ограничивающими число людей, которые могут жить на Земле. Важно отметить, что зависящая от плотности регуляция в настоящее время не проявляется в характере роста населения. Как мы уже говорили, недавние исследования показали повсеместную положительную корреляцию между приростом людского населения и плотностью (т.е. рост населения ускоряется при повышении плотности населения в отличие от популяции большинства других видов, у которых скорость роста уменьшается с увеличением плотности).

Одно несомненно: характер роста популяции человека не описывается ни S-образной, ни простой логистической кривой... рост не регулируется «автоматически» около некоторого стационарного уровня, как у дрожжей в тесном сосуде, где клетки очень быстро начинают гибнуть под действием собственных отходов. Поскольку у человека воздействие перенаселения, так же как и влияние перерасхода каких-либо ресурсов, всегда начинается лишь после продолжительного лаг-периода, плотность населения будет стремиться к «превышению уровня», если не начнут действовать какие-то факторы, резко снижающие скорость роста до того, как начнут проявляться вредные последствия перенаселения. Таким образом, у человека, по-видимому, имеются две основные возможности. Первая состоит в том, чтобы допустить неограниченный рост населения, который будет продолжаться до тех пор, пока плотность не превысит известные пределы (пища, ресурсы, пространство, загрязнение и т.п.). После этого большому числу людей придется погибнуть или влечить очень жалкое существование до тех пор, пока не снизится плотность (или не повысится порог, если это окажется возможным). Если в этот момент не ввести контроль, могут произойти дополнительные взрывы численности. Некоторые области земного шара уже так перенаселены, что какое-то одно неблагоприятное событие, например наводнение, тайфун или один неурожай, может привести к гибели тысяч и даже миллионов людей. Другая возможность — признать, что на самом деле эта гибель вызвана перенаселением. Если человек примет на себя ответственность, появится возможность заранее предсказать пределы, принять меры по регулированию численности (контроль рождаемости, ограничения земле- и водопользования, охрана и возобновление ресурсов, снижение экономических «стимуляторов роста» и т.д.), с тем чтобы плотность оставалась заметно ниже критической. Для достижения этого необходимо, чтобы взаимодействие науки и техники (науку можно приравнять к «пониманию», а технику — к «умению») находилось под контролем человеческих ценностей.

В 1959 г., когда готовилось второе издание этой книги, авторы книг и статей по экологии человека по своему отношению к вопросу о перенаселении делились почти поровну на два лагеря. В то

время одни мыслящие и образованные специалисты в области как естественных, так и общественных наук предостерегали, что опасность очень велика, но другие столь же авторитетные специалисты и также представляющие как естественные, так и общественные науки, придерживались противоположного мнения. В 1970 г. все авторы почти единодушно говорят о необходимости какой-то регуляции роста населения. Даже самые горячие сторонники усиленного развития сельского хозяйства соглашались с тем, что «зеленая революция» (и другие технические достижения) только отодвигает время, когда рост населения придется регулировать. Сейчас дискуссия принимает иную форму (как уже отмечалось во введении к третьей части), и две противоположные точки зрения сводятся к следующему:

1) проблемы населения и загрязнения можно решить техническими средствами;

2) для дилеммы населения и загрязнения технического решения не существует; необходимы этические, законодательные, политические и экономические ограничения.

Эколог считает, что верны обе точки зрения, но ни одна из них сама по себе не может служить основой для выработки программы и установления целей или практических действий. Если мы хотим претворить в жизнь первое утверждение, то необходимо принять второе.

3. Из чего должна слагаться прикладная экология человека

Как уже подчеркивалось в этой главе, в настоящее время для решения проблем населения и загрязнения экологические принципы совершенно не привлекаются, но представление о необходимости управления экосистемой как целым быстро распространяется во всем мире. Если человек хочет управлять самим собой, а также ресурсами, от которых зависит его жизнь, то нужно осуществить все или некоторые из следующих реформ и мероприятий (в скобках даны ссылки на те разделы текста, где обсуждается экологический смысл данного пункта).

1. Отмена всех запретов на планирование семьи, контроль над рождаемостью и аборты. С тем чтобы рождались только те дети, которым обеспечены любовь родителей. Образование и хорошие условия жизни в пределах локальных ресурсов и пространства. (При этом скорость роста населения будет в большей степени соответствовать емкости среды, как в случае многих популяций животных с хорошей регуляцией численности.)

2. Региональное планирование землепользования (разделение на зоны) как способ регуляции численности и размещения населения и как способ оставить свободной по крайней мере третью часть

территории на новых и разрастающихся городских местностях (аналог «территориальной регуляции» в природных популяциях).

3. Реорганизация налоговой системы, с тем чтобы по мере увеличения плотности населения и давления на ресурсы резко понижались «стимуляторы роста» (аналог подавления роста в природных популяциях).

4. Большой упор на закон и медицину в охране окружающей среды и потребителя.

5. Оценка оптимальной величины населения, с тем чтобы иметь некий «исходный уровень», применительно к которому будут действовать способы регуляции с отрицательной обратной связью, перечисленные в пунктах 1—4.

6. Установление общей стоимости каждого данного продукта с учетом всех стадий, чтобы избежать просчетов, связанных с тем, что стоимость производства, загрязнения и восстановления рассматриваются порознь. Рассмотрение производственных циклов в целом следует также использовать для такой переделки системы сельского хозяйства, при которой уменьшились бы отходы и загрязнения. А это означает, что основное внимание должно быть направлено на качество, разнообразие, устойчивость к болезням и т.д., а не на размеры урожая как такового.

7. Развитие «экономики космического корабля», где внимание направлено главным образом на качество основных запасов и человеческих ресурсов, а не на уровни производства и потребления как таковые.

8. Регенерация и строгая охрана воды и всех минеральных и биологических ресурсов.

9. Обращение к отходам, как к подобным продуктам, состоящее в объединении мероприятий по полной переработке с организацией мест отдыха, со спортом и охраной водного и воздушного бассейнов.

10. Всеобщее признание того, что в отношении всех своих жизненных ресурсов (воздух, вода, пища) город зависит от зеленой сельской местности, а деревня зависит от города по большинству своих экономических ресурсов, и создание единого сельско-городского комплекса.

11. Переключение научных исследований с поисков отдельных ответов на отдельные вопросы или скороспелых технических решений на моделирование долговременных решений кардинальных проблем (т.е. переход от «инженерного мышления», посвященного преимущественно части, к рассмотрению целого).

12. На всех ступенях системы образования (от средней до высшей школы) больше внимания нужно уделять принципу единства человека и окружающей среды, т.е. экологии экосистемы.

АГРЕССИЯ

ВЕЛИКИЙ ПАРЛАМЕНТ ИНСТИНКТОВ

Как всё в единство сплетено,
Одно в другом воплощено!

И. В. Гёте

Как мы видели в предыдущей главе, эволюционный процесс ритуализации всегда создает новый, автономный инстинкт, который вторгается в общую систему всех остальных инстинктивных побуждений в качестве независимой силы. Его действие, которое, как мы знаем, первоначально всегда состоит в передаче сообщения — в «коммуникации», — может блокировать пагубные последствия агрессии уже тем, что делает возможным взаимопонимание сородичей. Не только у людей ссоры часто возникают из-за того, что один *ошибочно* полагает, будто другой хочет причинить ему зло. Уже в этом состоит чрезвычайная важность ритуала для нашей темы. Но, кроме того, — как это станет еще яснее на примере триумфального крика гусей — новый инстинкт в качестве самостоятельного побуждения может приобрести такую мощь, что оказывается в состоянии успешно выступать против агрессии в Великом Парламенте Инстинктов. Чтобы объяснить, как действует ритуал, блокируя агрессию, но не ослабляя ее по существу и не мешая ей способствовать сохранению вида, — о чем мы говорили в третьей главе — необходимо сказать кое-что о системе взаимодействий инстинктов вообще. Эта система напоминает *парламент* тем, что представляет собой более или менее целостную систему взаимодействий между множеством независимых переменных, а также и тем, что ее истинно демократическая процедура произошла из исторического опыта — и хотя не всегда приводит к полной гармонии, но создает, по крайней мере, терпимые компромиссы между различными интересами.

Что же такое «отдельный» инстинкт? К названиям, которые часто употребляются и в обыденной речи для обозначения различных инстинктивных побуждений, прилипло вредное наследие «финалистического» мышления. Финалист — в худом значении этого слова — это человек, который путает вопрос «почему?» с вопросом «зачем?», и в результате полагает, будто, указав значение какой-либо функции для сохранения вида, он уже решил

проблему ее причинного возникновения. Легко и заманчиво постулировать наличие особого побуждения, или инстинкта, для любой функции, которую легко определить и важность которой для сохранения вида совершенно ясна, как, скажем, питание, размножение или бегство, как привычен оборот «инстинкт размножения»! Только не надо себя уговаривать — как, к сожалению, делают многие исследователи, — будто эти слова *объясняют* соответствующее явление. Понятия, соответствующие таким определениям, ничуть не лучше понятий «флогистона» или «боязни пустоты» («*horior vacui*»), которые лишь называют явления, но «лживо притворяются, будто содержат их объяснение», как сурово сказал Джон Дьюи. Поскольку мы в этой книге стремимся найти причинные объяснения *нарушениям функции* одного из инстинктов — инстинкта агрессии, мы не можем ограничиться желанием выяснить лишь «зачем» нужен этот инстинкт, как это было в третьей главе. Нам необходимо понять его нормальные причины, чтобы разобраться в причинах его нарушений и, по возможности, научиться устранять эти нарушения.

Активность организма, которую можно назвать по ее функции — питание, размножение или даже самосохранение, — конечно же, никогда не бывает результатом лишь одной-единственной причины или одного-единственного побуждения. Поэтому ценность таких понятий, как «инстинкт размножения» или «инстинкт самосохранения», столь же ничтожна, сколько ничтожна была бы ценность понятия некоей особой «автомобильной силы», которое я мог бы с таким же правом ввести для объяснения того факта, что моя старая добрая машина все еще ездит. Но кто платит за ремонты, в результате которых это возможно, — тому и в голову не придет поверить в эту мистическую силу: тут дело в ремонтах! Кто знаком с патологическими нарушениями врожденных механизмов поведения — эти механизмы мы и называем инстинктами, — тот никогда не подумает, будто животными, и даже людьми, руководят какие-либо направляющие факторы, которые постижимы лишь с точки зрения конечного результата, а причинному объяснению не поддаются и не нуждаются в нем.

Поведение, единое с точки зрения функции, — например питание или размножение, — всегда бывает обусловлено очень сложным взаимодействием очень многих физиологических причин. Изменчивость и Отбор, конструкторы эволюции, это взаимодействие «изобрели» и основательно испытали его. Иногда все физиологические причины в нем способны взаимно уравниваться; иногда одна из них влияет на другую в большей мере, нежели подвержена обратному влиянию с ее стороны; некоторые из них сравнительно независимы от общей системы взаимодействий и влияют на нее сильнее, нежели она на них. Хорошим примером таких элементов, относительно независимых от целого, являются кости скелета.

В сфере поведения наследственные координации, или инстинктивные действия, являются элементами, явно независимыми от целого. Будучи столь же неизменными по форме, как крепчайшие кости скелета, каждое из них имеет свою особенную власть над всем организмом. Каждое — как мы уже знаем — энергично требует слова, если ему пришлось долго молчать, и вынуждает животное или человека активно искать такую ситуацию, которая стимулирует и заставляет произвести именно это инстинктивное действие, а не какое-либо иное. Поэтому было бы большой ошибкой полагать, будто всякое инстинктивное действие, видосохраняющая функция которого служит, например, добыванию пищи, непременно должно быть обусловлено голодом. Мы знаем по своим собакам, что они с величайшим азартом вынюхивают, рыщут, гоняют, хватают и рвут, когда вовсе не голодны; каждому любителю собак известно, что азартного пса-охотника *нельзя*, к сожалению, отучить от его страсти никакой кормежкой. То же справедливо в отношении инстинктивных действий захвата добычи у кошек, в отношении известных «промеров» у скворцов, которые выполняются почти непрерывно и совершенно независимо от того, насколько скворец голоден, — короче, в отношении всех малых служителей сохранения вида, будь то бег, полет, укус, удар, умывание, рытье и т. п. Каждая наследственная координация обладает своей собственной спонтанностью и вызывает свое собственное поисковое поведение. Значит, эти малые частные побуждения совершенно независимы друг от друга? И составляют мозаику, функциональная целостность которой возникает лишь в ходе эволюции? В некоторых крайних случаях это может быть действительно так; еще недавно такие особые случаи считались общим правилом. В героические времена сравнительной этиологии так и считалось, что лишь *одно* побуждение всегда овладевает животным полностью и безраздельно. Джулиан Хаксли использовал красивое и меткое сравнение, которое я уже много лет цитирую в своих лекциях: он сказал, что человек или животное — это корабль, которым командует множество капитанов. У человека все эти командиры могут находиться на капитанском мостике одновременно, и каждый волен высказывать свое мнение; иногда они приходят к разумному компромиссу, который предлагает лучшее решение проблемы, нежели единичное мнение умнейшего из них; но иногда им не удается прийти к соглашению, и тогда корабль остается без всякого разумного руководства. У животных, напротив, капитаны придерживаются уговора, что в любой момент лишь один из них имеет право быть на мостике, так что каждый должен уходить, как только наверх поднялся другой. Последнее сравнение подкупающе точно описывает некоторые случаи поведения животных в конфликтных ситуациях, и потому мы тогда проглядели тот факт, что это лишь достаточно редкие особые случаи.

Кроме того, простейшая форма взаимодействия между двумя соперничающими побуждениями проявляются именно в том, что одно из них попросту подавляется или выключается другим; так что было вполне закономерно и правильно для начала придерживаться простейших явлений, легче всего поддающихся анализу, хотя и не самых распространенных.

В действительности между двумя побуждениями, способными меняться независимо друг от друга, могут возникать любые мыслимые взаимодействия. Одно из них может односторонне поддерживать и усиливать другое; оба могут взаимно поддерживать друг друга; могут, не вступая в какое-либо взаимодействие, суммироваться в одном и том же поведенческом акте и, наконец, могут взаимно затормаживать друг друга. Кроме множества других взаимодействий, одно перечисление которых увело бы нас слишком далеко, существует, наконец, и тот редкий особый случай, когда слабейшее на данный момент из двух побуждений выключается более сильным, как в триггере, работающем по принципу Все-или-Ничего. Лишь один этот случай соответствует сравнению Хаксли, и лишь об одном-единственном побуждении можно сказать, что оно, как правило, подавляет все остальные, — о побуждении к бегству. Но даже и этот инстинкт достаточно часто находит себе хозяина.

Обычные, частые, многократно используемые «дешевые» инстинктивные действия, которые я выше назвал «малыми служителями сохранения вида», часто находятся в распоряжении *нескольких* больших инстинктов. Прежде всего действия перемещения — бег, полет, плавание и т.д., но также и другие действия, когда животное клует, грызет, хватает и т.п., могут служить и питанию, и размножению, и бегству, и агрессии, которые мы здесь назовем «большими» инстинктами. Поскольку они, таким образом, служат как бы инструментами различных систем высшего порядка и подчиняются им — прежде всего вышеупомянутой «большой четверке» — как источникам мотивации, я назвал их в другой работе *инструментальными* действиями. Однако это вовсе не означает, что такие действия лишены собственной спонтанности, как раз наоборот, в соответствии с широко распространенным принципом естественной экономии необходимо, чтобы, скажем, у волка или у собаки спонтанное возникновение элементарных побуждений — вынюхивать, рыскать, гнать, хватать, рвать — было настроено приблизительно на те требования, какие предъявляет к ним голод (в естественных условиях). Если исключить голод в качестве побуждения — с помощью очень простой меры, постоянно наполняя кормушку самой лакомой едой, — то сразу выясняется, что животное нюхает, ищет след, бежит и гонит почти так же, как и в том случае, когда вся эта деятельность необходима для удовлетворения потребности в пище. Но если собака очень

голодна, она делает все это *измеримо* активнее. Таким образом, хотя вышеназванные инструментальные инстинкты имеют свою собственную спонтанность, но голод *побуждает* их к еще большей активности, чем они проявили бы сами по себе. Именно так: побуждение может быть побуждаемо!

Такая подверженность спонтанных функций стимулам, идущим откуда-то со стороны, — это в физиологии вовсе не исключение и не новость. Инстинктивное действие является реакцией — в тех случаях, когда оно следует в ответ на стимул какого-то внешнего раздражения или какого-то другого побуждения. Лишь при отсутствии таких стимулов оно проявляет собственную спонтанность. <...>

8. АНОНИМНАЯ СТАЯ

Осилить массу можно только массой.

И. В. Гёме

Первая из трех форм сообщества, которые мы хотим сравнить с единением, построенном на личной дружбе и любви, — пожалуй, в качестве древнего и мрачного фона, — это так называемая анонимная стая. Это самая частая и, несомненно, самая примитивная форма сообщества, которая обнаруживается уже у многих беспозвоночных, например у каракатиц и у насекомых. Однако это вовсе не значит, что она не встречается у высших животных; даже люди при определенных, подлинно страшных, обстоятельствах могут впасть в состояние анонимной стаи, «отступить в нее», как бывает при панике.

Термином «стая» мы обозначаем не любые случайные скопления отдельных существ одного и того же вида, которые возникают, скажем, когда множество мух или коршунов собираются нападать, либо когда на каком-нибудь особенно благоприятном участке приливной зоны образуются сплошные скопления улиток или актиний. Понятие стаи определяется тем, что отдельные особи некоторого вида *реагируют друг на друга* сближением, а значит, их удерживают вместе какие-то поведенческие акты, *которые одно или несколько отдельных существ вызывают у других* таких же. Поэтому для стаи характерно, что множество существ, тесно сомкнувшись, *движутся в одном направлении*.

Сплоченность анонимной стаи вызывает ряд вопросов физиологии поведения. Они касаются не только функционирования органов чувств и нервной системы, создающих взаимопритяжение, «позитивный таксис», но — прежде всего — и высокой избирательности этих реакций. Когда стадное существо любой ценой стремится быть в непосредственной близости ко множеству себе подобных и лишь в исключительных, крайних случаях удовлетворяется в качестве эрзац-объектов животными другого вида — это

требует объяснения. Такое стремление может быть врожденным, как, например, у многих уток, которые избирательно реагируют на цвет оперения своего вида и летят следом; оно может зависеть и от индивидуального обучения.

Мы не сможем ответить на многие «почему?», возникающие в связи с объединением анонимной стаи, до тех пор, пока не решим проблему «зачем?» в том смысле, в каком рассматривали ее в начале книги. При постановке этого вопроса мы сталкиваемся с парадоксом: так легко оказалось найти вполне убедительный ответ на бессмысленный с виду вопрос, для чего может быть полезна «вредная» агрессия, о значении которой для сохранения вида мы знаем уже из главы 3; но, странным образом, очень трудно сказать, для чего нужно объединение в громадные анонимные стаи, какие бывают у рыб, птиц и многих млекопитающих. Мы слишком привыкли видеть эти сообщества; а поскольку мы сами тоже социальные существа, нам слишком легко представить себе, что одинокая сельдь, одинокий скворец или бизон не могут чувствовать себя благополучно. Поэтому вопрос «зачем?» просто не приходит в голову. Однако правомочность такого вопроса тотчас становится ясной, едва мы присмотримся к очевидным недостаткам крупных стай: большому количеству животных трудно найти корм, спрятаться невозможно (а эту возможность естественный отбор в других случаях оценивает очень высоко), возрастает подверженность паразитам и т.д., и т.п.

Легко предположить, что *одна* сельдь, плывущая в океане сама по себе, или *один* выюрок, самостоятельно улетающий по осени в свои скитания, или *один* лемминг, пытающийся в одиночку найти уголья побогаче при угрозе голода, — они имели бы лучшие шансы на выживание. Плотные стаи, в которых держатся эти животные, просто-таки провоцируют их эксплуатацию «хищниками одного удара», вплоть до «Германского акционерного общества рыболовства в Северном море». Мы знаем, что инстинкт, собирающий животных, обладает огромной силой, и что притягивающее действие, которое оказывает стая на отдельных животных и небольшие их группы, возрастает с размером стаи, причем вероятно даже в геометрической прогрессии. В результате у многих животных, как, например, у выюров, может возникнуть смертельный порочный круг. Если под влиянием случайных внешних обстоятельств, например чрезвычайно обильный урожай буковых орешков в определенном районе, зимнее скопление этих птиц значительно, на порядок, превысит обычную величину, то их лавина перерастает экологически допустимые пределы, и птицы массами гибнут от голода. Я имел возможность наблюдать такое гигантское скопление зимой 1951 года близ Турензее в Швейцарии. Под деревьями, на которых спали птицы, каждый день лежало много-много трупиков; несколько выбороч-

ных проб с помощью вскрытия однозначно указали на голодную смерть.

Я полагаю, будет вполне естественно, если из явных и крупных недостатков, присущих жизни в больших стаях, мы извлечем тот вывод, что в каком-то другом отношении такая жизнь должна иметь какие-то преимущества, которые не только спорят с этими недостатками, но и превышают их — настолько, что селекционное давление выпестовало сложные поведенческие механизмы образования стаи.

Если стадные животные хотя бы в малейшей степени *вооружены* — как, скажем, галки, мелкие жвачные или маленькие обезьяны, — то легко понять, что для них единство — это сила. Отражение хищника или защита схваченного им члена стаи даже не обязательно должны быть успешными, чтобы иметь видосохраняющую ценность. Если социальная защитная реакция галок и не приводит к спасению галки, попавшей в когти ястреба, а лишь докучает ястребу настолько, что он начинает охотиться на галок чуть-чуть менее охотно, чем, скажем, на сорок, — этого уже достаточно, чтобы защита товарища приобрела весьма существенную роль. То же относится к «запутыванию», с которым преследует хищника самец косули, или к яростным воплям, с какими преследуют тигра или леопарда многие обезьянки, прыгая по кронам деревьев на безопасной высоте и стараясь подействовать тому на нервы. Из таких же начал путем вполне понятных постепенных переходов развились тяжеловооруженные боевые порядки буйволов, павианов и других мирных героев, перед оборонной мощью которых пасуют и самые страшные хищники.

Но какие преимущества приносит тесная сплоченность стаи безоружным — сельди и прочей косяковой рыбешке, мелким птахам, полчищами совершающим свои перелеты, и многим-многим другим? У меня есть только один предположительный ответ, и я высказываю его с сомнением, так как мне самому трудно поверить, что одна-единственная, маленькая, но широко распространенная слабость хищников имеет столь далеко идущие последствия в поведении животных, служащих им добычей. Эта слабость состоит в том, что очень многие, а может быть даже и все хищники, охотящиеся на одиночную жертву, не способны сконцентрироваться на одной цели, если в то же время множество других, равноценных, мельтешат в их поле зрения. Попробуйте сами вытащить одну птицу из клетки, в которой их много. Даже если вам вовсе не нужна какая-то определенная птица, а просто нужно освободить клетку, вы с изумлением обнаружите, что необходимо твердо сконцентрироваться именно на какой-то определенной, чтобы вообще поймать хоть одну. Кроме того, вы поймете, насколько трудно сохранять эту нацеленность на определенный объект и не позволить себе отвлекаться на другие, кото-

рые кажутся более доступными. Другую птицу, которая вроде бы лезет под руку, почти никогда схватить не удастся, потому что вы не следили за ее движениями в предыдущие секунды и не можете предвидеть, что она сделает в следующий момент. И еще — как это ни поразительно — вы часто будете хватать по промежуточному направлению, между двумя одинаково привлекательными.

Очевидно, как раз то же самое происходит и с хищниками, когда им одновременно предлагается множество целей. На золотых рыбках экспериментально установлено, что они, парадоксальным образом, хватают меньшее количество водяных блох, если их предлагается слишком много сразу. Точно так же ведут себя ракеты с радарным наведением на самолет: они пролетают по равнодействующей между двумя целями, если те расположены близко друг к другу и симметрично по отношению к первоначальной траектории. Хищная рыба, как и ракета, лишена способности проигнорировать одну цель, чтобы сконцентрироваться на другой. Так что причина, по которой сельди стягиваются в плотный косяк, вполне вероятно, та же, что и у реактивных истребителей, которые мы видим в небе летящими плотно сомкнутым строем, что отнюдь не безопасно даже при самом высоком классе пилотов.

Человеку, не вникавшему в эти проблемы, такое объяснение может показаться притянутым за уши, однако за его правильность говорят весьма веские аргументы. Насколько я знаю, не существует ни одного-единственного вида, живущего в тесном стайном объединении, у которого отдельные животные в стае, будучи взволнованы — например, заподозрив присутствие хищного врага, не стремились бы *стянуться плотнее*. Как раз у самых маленьких и самых беззащитных животных это заметно наиболее отчетливо, так что у многих рыб это делают только мальки, а взрослые — уже нет. Некоторые рыбы в случае опасности собираются в такую плотную массу, что она выглядит как *одна* громадная рыба; а поскольку многие довольно глупые хищники, например барракуда, очень боятся подавиться, напав на слишком крупную добычу, — это может играть своеобразную защитную роль.

Еще один очень сильный довод в пользу правильности моего объяснения вытекает из того, что, очевидно, ни один крупный профессиональный хищник не нападает на жертву внутри плотного стада. Не только крупные млекопитающие хищники, как лев и тигр, задумываются об обороноспособности их добычи, прежде чем прыгнуть на буйвола в стаде. Мелкие хищники, охотящиеся на беззащитную дичь, тоже почти всегда стараются отбить от стаи кого-то одного, прежде чем соберутся всерьез на него напасть. Сапсан и чеглок имеют даже специальный охотничий прием, который служит исключительно этой цели и никакой другой. В Бэ-эбе наблюдал то же самое у рыб в открытом море. Он видел, как крупная макрель следует за косяком мальков рыбы-ежа и терпе-

ливо ждет, пока какая-нибудь одна рыбка не отделится наконец от плотного строя, чтобы самой схватить какую-то мелкую добычу. Такая попытка неизменно заканчивалась гибелью маленькой рыбки в желудке большой.

Перелетные стаи скворцов, очевидно, используют затруднения хищника с выбором цели для того, чтобы специальной воспитательной мерой внушать ему дополнительное отвращение к охоте на скворцов. Если стая этих птиц замечает в воздухе ястреба-перепелятника или чеглока, то она стягивается настолько плотно, что кажется — птицы уже не в состоянии работать крыльями. Однако таким строем скворцы не уходят от хищника, а спешат ему навстречу и в конце концов обтекают его со всех сторон, как амеба обтекает питательную частицу, пропуская ее внутрь себя в маленьком пустом объеме, в «вакуоли». Некоторые наблюдатели предполагали, что в результате такого маневра у хищной птицы забирается воздух из-под крыльев, так что она не может не только нападать, но и вообще летать. Это, конечно, бессмыслица, но такое переживание наверняка бывает для хищника достаточно мучительным, чтобы оказать упомянутое воспитательное воздействие; так что это поведение имеет видосохраняющую ценность.

Многие социологи полагают, что изначальной формой социального объединения является *семья*, а уже из нее в процессе эволюции развились все разнообразные формы сообществ, какие мы встречаем у высших животных. Это может быть верно для общественных насекомых, а возможно, и для некоторых млекопитающих, включая приматов и человека, но такое утверждение нельзя обобщать. Самая первая форма «сообщества» — в самом широком смысле слова — это анонимное скопление, типичный пример которого нам дают рыбы в мировом океане. Внутри такого скопления нет ничего похожего на структуру: никаких вожаков и никаких ведомых — лишь громадная масса одинаковых элементов. Несомненно, они взаимно влияют друг на друга; несомненно, существуют какие-то простейшие формы «взаимопонимания» между особями, составляющими эти скопления. Когда кто-то из них замечает опасность и спасается бегством, все остальные, кто может заметить его страх, заражаются этим настроением. Насколько широко распространится такая паника в крупном косяке, окажется ли она в состоянии побудить весь косяк к повороту и бегству — это сугубо количественный вопрос; ответ здесь зависит от того, сколько особей испугались и насколько интенсивно они удирали. Так же может среагировать весь косяк и на привлекающий стимул, вызывающий «позитивный таксис», даже в том случае, если его заметила лишь одна особь. Ее решительное движение наверняка увлечет в том же направлении и других рыб, и снова лишь вопрос количества, позволит ли себя увлечь весь косяк.

Чисто количественное, в определенном смысле очень демократическое проявление такой «передачи настроений» состоит в том, что решение дается косяку тем труднее, чем больше в нем рыб и чем сильнее у них стадный инстинкт. Рыба, которая по какой-то причине поплыла в определенном направлении, вскоре волей-неволей выплывает из косяка и попадает при этом под влияние всех стимулов, побуждающих ее вернуться. Чем больше рыб выплывает в одном и том же направлении, — какие бы внешние стимулы ни побуждали каждую из них, — тем скорее они увлекут весь косяк; чем больше косяк, — а вместе с тем и его обратное влияние, — тем меньшее расстояние проплывают его предприимчивые представители, прежде чем повернут обратно, словно притянутые магнитом. Поэтому большая стая мелких и плотно сбившихся рыбок являет жалкий образец нерешительности. То и дело предприимчивые рыбки образуют маленькие группы, которые вытягиваются из стаи, как ложноножка у амёбы. Чем длиннее становятся эти псевдоподии, тем они делаются тоньше, и тем сильнее, очевидно, становится напряжение вдоль них; как правило, этот поиск заканчивается стремительным бегством в глубь стаи. Когда видишь это — поневоле начинаешь нервничать, сомневаться в демократии и находить достоинства в политике правых.

Что такие сомнения мало оправданы, доказывает простой, но очень важный для социологии опыт, который провел однажды на речных гольянах Эрих фон Хольст. Он удалил одной-единственной рыбе этого вида передний мозг, отвечающий — по крайней мере у этих рыб — за все реакции стайного объединения. Гольян без переднего мозга выглядит, ест и плавает, как нормальный; единственный отличающий его поведенческий признак состоит в том, что ему безразлично, если никто из товарищей не следует за ним, когда он выплывает из стаи. Таким образом, у него отсутствует нерешительная «оглядка» нормальной рыбы, которая, даже если очень интенсивно плывет в каком-либо направлении, уже с самых первых движений обращает внимание на товарищей по стае: плывут ли за ней и сколько их, плывущих следом. Гольяну без переднего мозга это было совершенно безразлично; если он видел корм или по какой-то другой причине хотел куда-то, он решительно плыл туда — и, представьте себе, *вся стая плыла следом*. Искалеченное животное как раз из-за своего дефекта стало несомненным лидером.

Внутривидовая агрессия, разделяющая и отдаляющая сородичей, по своему действию противоположна стадному инстинкту, так что — само собой разумеется — сильная агрессивность и тесное объединение несовместимы. Однако не столь крайние проявления обоих механизмов поведения отнюдь не исключают друг друга. И у многих видов, образующих большие скопления, отдельные особи никогда не переступают определенного предела:

между каждыми двумя животными всегда сохраняется какое-то постоянное пространство. Хорошим примером тому служат скворцы, которые рассаживаются на телеграфном проводе с правильными промежутками, словно жемчужины в ожерелье. Дистанция между каждыми двумя скворцами в точности соответствует их возможности достать друг друга клювом. Непосредственно после приземления скворцы размещаются случайным образом, но те, которые оказались слишком близко друг к другу, тотчас затевают драку, и она продолжается до тех пор, пока повсюду не установится «предписанный» интервал, очень удачно обозначенный Хедигером как *индивидуальная дистанция*. Пространство, радиус которого определен индивидуальной дистанцией, можно рассматривать как своего рода крошечную транспортабельную территорию, потому что поведенческие механизмы, обеспечивающие поддержание этого пространства, в принципе ничем не отличаются от описанных выше, определяющих границы соседних владений. Бывают и настоящие территории, например у олушей, гнездящихся колониями, которые возникают в точности так же, как распределяются сидячие места у скворцов: крошечное владение пары олушей имеет как раз такие размеры, что две соседние птицы, находясь каждая в центре своего «участка» (т.е. сидя на гнезде), только-только не достают друг друга кончиком клюва, когда обе вытянут шеи, как только могут.

Итак, стайное объединение и внутривидовая агрессия не совсем исключают друг друга, но мы упомянули об этом лишь для полноты общей картины. Вообще же для стайных животных типично отсутствие какой бы то ни было агрессивности, а вместе с тем и отсутствие индивидуальной дистанции. Сельдевые и карповые косяковые рыбы не только при беспокойстве, но и в покое держатся так плотно, что касаются друг друга; и у многих рыб, которые во время нереста становятся территориальными и крайне агрессивными, всякая агрессивность совершенно исчезает, как только эти животные, позаботившись о продолжении рода, снова собираются в стаи, как многие циклиды, колюшка и другие. В большинстве случаев неагрессивное косяковое состояние рыб внешне проявляется в их особой окраске. У очень многих видов птиц тоже господствует обычай — на время, не связанное с заботой о потомстве, вновь собираться в большие анонимные стаи, как это бывает у аистов и цапель, у ласточек и очень многих других певчих птиц, у которых супруги осенью и зимой не сохраняют никаких связей.

Лишь у немногих видов птиц и в больших перелетных стаях супружеские пары — или, точнее, родители и дети — держатся вместе, как у лебедей, диких гусей и журавлей. Понятно, что громадное количество птиц и теснота в большинстве крупных птичьих стай затрудняют сохранение связей между отдельными особя-

ми, но большинство этих животных и не придает этому никакого значения. В том-то и дело, что форма такого объединения совершенно анонимна; каждому отдельному существу общество каждого сородича так же мило, как и любого другого. Идея личной дружбы, которая так прекрасно выражена в народной песне «У меня был друг-товарищ, лучше в мире не сыскать», — абсолютно неприменима в отношении такого стайного существа: *каждый* товарищ так же хорош, как и любой другой; хотя ты не найдешь никого лучше, но и никого хуже тоже не найдешь, так что нет никакого смысла цепляться за какого-то определенного члена стаи как за своего друга и товарища.

Связи, соединяющие такую анонимную стаю, имеют совершенно иной характер, нежели личная дружба, которая придает прочность и стабильность нашему собственному сообществу. Однако можно было бы предположить, что личная дружба и любовь вполне могли бы развиваться в недрах такого мирного объединения; эта мысль кажется особенно заманчивой, поскольку анонимная стая, безусловно, появилась в процессе эволюции гораздо раньше личных связей. Поэтому, чтобы избежать недоразумений, я хочу сразу предупредить о том, что анонимное стаеобразование и личная дружба исключают друг друга, потому что последняя — как это ни странно — всегда связана с агрессивным поведением. Мы не знаем ни одного живого существа, которое способно на личную дружбу и при этом лишено агрессивности. Особенно впечатляющей является эта связь у тех животных, которые становятся агрессивными лишь на период размножения, а в остальное время утрачивают агрессивность и образуют анонимные стаи. Если у таких существ вообще возникают личные узы, эти узы теряются вместе с утратой агрессивности. Именно поэтому распадаются супружеские пары у аистов, зябликов, цихлид и прочих, когда громадные анонимные стаи собираются для осенних странствий.

9. СООБЩЕСТВО БЕЗ ЛЮБВИ

И в сердце вечный хлад.

И. В. Гёте

В конце предыдущей главы анонимная стая противопоставлена личным узам лишь для того, чтобы подчеркнуть, что эти два механизма социального поведения являются в корне взаимоисключающими; это вовсе не значит, что других механизмов не существует. У животных бывают и такие отношения между определенными особями, которые связывают их на долгое время, иногда на всю жизнь, но при этом личные узы не возникают. Как у людей существуют деловые партнеры, которым прекрасно вместе работается, но и в голову не придет вместе пойти на прогулку или

вообще как-то быть вместе, помимо работы, так и у многих видов животных существуют индивидуальные связи, которые возникают лишь косвенно, через общие интересы партнеров в каком-то общем «предприятии», или — лучше сказать — которые в этом предприятии и заключаются. По опыту известно, что любителям очеловечивать животных бывает удивительно и неприятно слышать, что у очень многих птиц, в том числе и у живущих в пожизненном «браке», самцы и самки совершенно не нуждаются друг в друге, они в самом буквальном смысле «не обращают внимания» друг на друга, если только им не приходится совместно заботиться о гнезде и птенцах.

Крайний случай такой связи — индивидуальной, но не основанной на индивидуальном узнавании и на любви партнеров — представляет то, что Хейнрот назвал «местным супружеством». Например, у зеленых ящериц самцы и самки занимают участки независимо друг от друга, и каждое животное обороняет свой участок исключительно от представителей своего пола. Самец ничего не предпринимает в ответ на вторжение самки; он и не может ничего предпринять, поскольку торможение, о котором мы говорили, не позволяет ему напасть на самку. В свою очередь, самка тоже не может напасть на самца, даже если тот молод и значительно уступает ей в размерах и силе, поскольку ее удерживает глубокое врожденное почтение к регалиям и мужественности, как было описано ранее. Поэтому самцы и самки устанавливают границы своих владений так же независимо, как это делают животные двух разных видов, которым совершенно не нужны внутривидовые дистанции между ними. Однако они принадлежат все же к одному виду и потому проявляют одинаковые «вкусы», когда им приходится занимать какую-то норку или подыскивать место для ее устройства. Но в пределах хорошо оборудованного вольера площадью более 40 квадратных метров — и даже в естественных условиях — ящерицы имеют в своем распоряжении далеко не беспредельное количество привлекательных возможностей устроиться (пустот между камнями, земляных нор и т.п.). И потому — иначе попросту и быть не может — самец и самка, в которых ничто друг от друга не отталкивает, поселяются в одной и той же квартире. Но, кроме того, очень редко два возможных жилища оказываются в точности равноценными и одинаково привлекательными, так что мы совсем не удивились, когда в нашем вольере в самой удобной, обращенной к югу норке тотчас же обосновались самый сильный самец и самая сильная самка из всей нашей колонии ящериц. Животные, которые подобным образом оказываются в постоянном контакте, естественно, чаще спариваются друг с другом, чем с чужими партнерами, случайно попавшими в границы их владений, но это вовсе не значит, что здесь проявляется их индивидуальное предпочтение к совладельцу жи-

лица. Когда одного из «локальных супругов» ради эксперимента удаляли, то вскоре среди ящериц вольера «проходил слух», что заманчивое имение самца — или соответственно самки — не занято. Это вело к новым яростным схваткам претендентов, и — что можно было предвидеть — как правило, уже на другой день следующие по силе самец или самка добывали себе это жилище вместе с половым партнером.

Поразительно, но почти так же, как только что описанные ящерицы, ведут себя наши домашние аисты. Кто не слышал ужасно красивых историй, которые рассказывают повсюду, где гнездятся аисты и бытуют охотничьи рассказы?! Они всегда принимаются всерьез, и время от времени то в одной, то в другой газете появляется отчет о том, как аисты перед отлетом в Африку вершили суровый суд: карались все преступления аистов, входящих в стаю, и прежде всего все аистихи, запятнавшие себя супружеской изменой, были приговорены к смерти и безжалостно казнены. В действительности для аиста его супруга значит не так уж много, даже нет абсолютно никакой уверенности, что он вообще узнал бы ее, встретив вдали от их общего гнезда. Пара аистов вовсе не связана той волшебной резиновой лентой, которая у гусей, журавлей, воронов или галок явно притягивает супругов тем сильнее, чем дальше друг от друга они находятся. Аист-самец и его дама почти никогда не летают вместе, на одинаковом расстоянии друг от друга, как это делают пары упомянутых и многих других видов, и в большой перелет они отправляются в совершенно разное время. Аист-самец всегда прилетает на родину гораздо раньше своей супруги, точнее, раньше самки из того же гнезда. Эрнст Шюц, будучи руководителем Росситенской орнитологической станции, сделал очень многозначительное наблюдение на аистах, гнездившихся у него на крыше. Заключалось оно в следующем. В тот год самец вернулся рано, и едва прошло два дня его пребывания дома — появилась чужая самка. Самец, стоя на гнезде, приветствовал чужую даму хлопаньем клюва, она тотчас опустилась к нему на гнездо и так же приветствовала в ответ. Самец без колебаний впустил ее и обращался с нею точь-в-точь, до мелочей, так, как всегда обращаются самцы со своими долгожданными, вернувшимися супругами. Профессор Шюц говорил мне, он бы поклялся, что появившаяся птица и была долгожданной, родной супругой, если его не вразумило кольцо — вернее, его отсутствие — на ноге новой самки.

Они вдвоем уже всю были заняты ремонтом гнезда, когда вдруг появилась старая самка. Между аистихами началась борьба за гнездо «не на жизнь, а на смерть», а самец следил за ними безо всякого интереса и даже не подумал принять чью-либо сторону. В конце концов новая самка улетела, побежденная «законной» супругой, а самец после смены жен продолжил свои занятия по

устройству гнезда с того самого места, где его прервал поединок соперниц. Он не проявил никаких признаков того, что вообще заметил эту двойную замену одной супруги на другую. Как это не похоже на легенду о суде! Если бы аист застал свою супругу на месте преступления с соседом на ближайшей крыше — он, по всей вероятности, просто не смог бы ее узнать.

Точно так же, как у аистов, обстоит дело и у кваквы, но отнюдь не у всех цапель вообще. Отто Кених доказал, что среди них есть много видов, у которых супруги, без всяких сомнений, узнают друг друга персонально и даже вдали от гнезда держатся до какой-то степени вместе. Квакву я знаю достаточно хорошо. В течение многих лет я наблюдал за искусственно организованной колонией свободных птиц этого вида, так что видел вблизи и до мельчайших подробностей, как у них образуются пары, как они строят гнезда, как высиживают и выращивают птенцов. Когда супруги, составляющие пару, встречались на нейтральной территории, т. е. на некотором расстоянии от их общего гнездового участка, — ловили они рыбу в пруду или кормились на лугу, расположенном примерно в 100 метрах от дерева-гнездовья, — не было никаких, абсолютно никаких признаков того, что птицы знают друг друга. Они так же яростно отгоняли друг друга от хорошего рыбного места, так же яростно дрались из-за разбросанного мною корма, как любые кваквы, между которыми нет никаких отношений. Они никогда не летали вместе. Объединение птиц в более или менее крупную стаю, когда в густых вечерних сумерках кваквы улетают рыбачить на Дунай, носило характер типично анонимного сообщества. Так же анонимна и организация их гнездовья, которое коренным образом отличается от строго замкнутого круга друзей в колонии галок. Каждая кваква, готовая весной к продолжению рода, устраивает свое гнездо хоть не слишком близко, но возле гнезда другой. Создается впечатление, что птице нужна «здоровая злость» по отношению к враждебному соседу, что без этого ей было бы труднее выполнять родительский долг. Наименьшие размеры гнездового участка определяются тем, как далеко достают клювы ближайших соседей при вытянутых шеях, т. е. точно так же, как у олушей или как при размещении скворцов на проводе. Таким образом, центры двух гнезд никогда не могут располагаться ближе, чем на расстоянии двойной досягаемости. У цапель шеи длинные, так что дистанция получается вполне приличной.

Знают ли соседи друг друга — этого я с уверенностью сказать не могу. Однако я никогда не замечал, чтобы какая-нибудь кваква привыкла к приближению определенного сородича, которому приходилось проходить мимо, по дороге к своему собственному гнезду. Казалось бы, после сотни повторений одного и того же события эта глупая скотина должна наконец сообразить, что ее сосед, испуганный, с прижатыми перьями, выражающими что

угодно, но уж никак не воинственные намерения, хочет только «проскочить поскорее». Но кваква никогда не научается понимать, что у соседа есть свое гнездо и потому он совершенно не опасен. Не понимает — и не делает никакой разницы между этим соседом и совершенно чужим пришельцем, замыслившим завоевание участка. Даже наблюдатель, не слишком склонный очеловечивать поведение животных, часто не может удержаться от злости на беспрерывные резкие вопли и яростный стук клювов, которые то и дело раздаются в колонии кваквы, в любой час дня и ночи, круглые сутки. Казалось бы, можно легко обойтись без этой ненужной траты энергии, поскольку кваквы в принципе могут узнавать друг друга индивидуально. Совсем маленькие птенцы одного выводка еще в гнезде знают друг друга, совершенно безошибочно и прямо-таки яростно нападают на подсаженного к ним чужого птенца, даже если он в точности того же возраста. Вылетев из гнезда, они тоже довольно долго держатся вместе, ищут друг у друга защиты и в случае нападения обороняются плотной фалангой. Тем более странно, что взрослая птица, сидящая на гнезде, никогда не ведет себя так, «как если бы она знала», что ее соседка — сама вполне обеспеченная домовладелица, у которой наверняка нет никаких завоевательских намерений.

Можно спросить, почему же все-таки кваква до сих пор не «додумалась до открытия», лежащего на самой поверхности, и не использовала своей способности узнавать сородичей для избирательного привыкания к соседям, избавив себя тем самым от невероятного количества волнений и энергетических затрат? Ответить на этот вопрос трудно, но, по-видимому, он и поставлен неверно. В природе существует не только целесообразное для сохранения видов, но и все *не настолько* нецелесообразное, чтобы повредить существованию вида.

Чему не научилась кваква, — привыкать к соседу, о котором известно, что он не замышляет нападения, и за счет этого избегать ненужных проявлений агрессии, — в том значительно преуспела одна из рыб — одна из уже известной нам своими рыбьими рекордами группы цихлид. В североафриканском оазисе Гафза живет маленький хаплохромис, о социальном поведении которого мы узнали благодаря основательнейшим наблюдениям Росла Киршхофера в естественных условиях. Самцы строят там тесную колонию «гнезд», лучше сказать — ямок для икры. Самки лишь выметывают икру в эти гнезда, а затем — как только самцы ее оплодотворяют — забирают ее в рот и уплывают на другое место, на богатое растительностью мелководье возле берега, где они будут выращивать молодь. Крошечный участок каждого из самцов бывает почти целиком занят икряной ямкой, которую рыбка выгрызает ртом и выметает хвостовым плавником. Каждый самец каждую плывущую мимо самку старается приманить к своей ямке опреде-

ленными ритуализованными действиями ухаживания и так называемым указывающим плаванием. За этой деятельностью они проводят большую часть года; не исключено даже, что они постоянно пребывают на нерестилище. Нет и никаких оснований предполагать, что они часто меняют свои участки. Таким образом, каждый имеет достаточно времени, чтобы основательно познакомиться со своими соседями, а уже давно установлено, что цихлиды вполне способны на это. Доктор Киршхофер не испугался чудовищной работы — выловить всех самцов такой колонии и индивидуально обозначить каждого из них. И тогда оказалось, что каждый самец на самом деле совершенно точно знает хозяев соседних участков и мирно сносит их присутствие рядом с собою, но тотчас же яростно нападает на каждого чужака, стоит лишь тому направиться, даже издали, в сторону его икраной ямки.

Такая готовность к миру у самцов хаплохромисов из Гафзы, основанная на индивидуальном узнавании сородичей, еще не является той дружеской связью, которой мы будем заниматься в главе 11. Ведь у этих рыб еще отсутствует пространственное притяжение между отдельными животными, персонально знающими друг друга, которое приводит к их постоянному совместному пребыванию, а именно оно и является объективным признаком дружбы. Однако в силовом поле, в котором взаимное отталкивание постоянно, всякое уменьшение отталкивания между двумя объектами имеет такие последствия, которые невозможно отличить от последствий притяжения. И еще в одном «пакт о ненападении» соседей у самцов-хаплохромисов похож на настоящую дружбу: как ослабление агрессивного отталкивания, так и усиление дружественного притяжения зависит от *степени знакомства* соответствующих существ. Избирательное привыкание ко всем стимулам, исходящим от персонального знакомого сородича, очевидно, является предпосылкой возникновения любых личных связей и, пожалуй, их предвестником в эволюционном развитии социального поведения.

Простое знакомство с сородичем затормаживает агрессивность и у человека (конечно, лишь в общем и при прочих равных), что лучше всего наблюдается в железнодорожном вагоне. Кстати, это наилучшее место и для изучения отталкивающего действия внутривидовой агрессии, и ее функции в разграничении пространства.

Все способы поведения, какие служат в этой ситуации отталкиванию территориальных конкурентов и пришельцев, — пальто и сумки на соседних свободных местах, вытянутые ноги, симуляция отвратительного храпа и т. д., и т. п. — все это бывает обращено исключительно против совершенно незнакомых людей и мгновенно пропадает, едва вновь появившийся окажется хоть в малейшей мере «своим». <...>

11. СОЮЗ

Мой страх пропал — плечо к плечу с тобой
Я брошу вызов моему столетию.

И. Ф. Шиллер

В тех различных типах социальной организации, которые я описал в предыдущих главах, связи между отдельными существами совершенно не носят личного характера. Почти любая особь равноценно заменяет другую как элемент надындивидуального сообщества. Первый проблеск личных отношений мы видели у оседлых самцов хаплохромисов из Гафзы, которые заключают с соседями пакт о ненападении и бывают агрессивны только с чужими. Однако при этом проявляется лишь пассивная терпимость по отношению к хорошо знакомому соседу. Еще не действует никакая притягательная сила, которая побуждала бы следовать за партнером, если он поплыл куда-то, или ради него оставаться на месте, если он остается, или же активно искать его, если он исчез.

Однако именно такое поведение характеризует ту объективно определяемую личную связь, которая является предметом данной главы и которую я буду в дальнейшем называть *союзом* или *узами*. Совокупность существ, связанную этими узами, можно обозначить термином *группа*. Таким образом, группа определяется тем, что она — как и анонимная стая — объединяется реакциями, которые вызывают друг у друга ее члены; однако в отличие от безличных сообществ групповые объединяющие реакции тесно связаны с *индивидуальностью* членов группы.

Как и пакт о взаимной терпимости у хаплохромисов Гафзы, настоящее группообразование имеет предпосылкой способность отдельных животных избирательно реагировать на индивидуальность других членов группы. У хаплохромиса, который на одном и том же месте, на своей гнездовой ямке, по-разному реагирует на соседей и на чужих, в процесс этого специального привыкания вовлечен целый ряд побочных обстоятельств. Это еще вопрос, как он стал бы обходиться с привычным соседом, если бы оба вдруг оказались в непривычном месте. Настоящее же группообразование характеризуется как раз своей независимостью от места. Роль, которую каждый член группы играет в жизни каждого другого, остается одной и той же в поразительном множестве самых различных внешних ситуаций; одним словом, предпосылкой любого группообразования является *персональное узнавание* партнеров в любых возможных обстоятельствах. Таким образом, образование группы не может быть основано только на врожденных реакциях, как это почти всегда бывает при образовании анонимных стай. Само собой разумеется, что знание партнеров должно быть усвоено индивидуально. <...>

Пожалуй, излишне указывать на аналогии между описанным выше социальным поведением некоторых животных — прежде всего диких гусей — и человека. Все прописные истины наших пословиц кажутся в той же мере подходящими и для этих птиц. Будучи эволюционистами и дарвинистами с колыбели, мы можем и должны извлечь из этого важные выводы. Прежде всего мы знаем, что самыми последними общими предками птиц и млекопитающих были примитивные рептилии позднего девона и начала каменноугольного периода, которые наверняка не обладали высокоразвитой общественной жизнью и вряд ли были умнее лягушек. Отсюда следует, что подобию социального поведения у серых гусей и у человека не могут быть унаследованы от общих предков; они не «гомологичны», а возникли — это не подлежит сомнению — за счет так называемого конвергентного приспособления. И так же несомненно, что их существование не случайно; вероятность, точнее, невероятность такого совпадения можно вычислить, но она выразилась бы астрономическим числом нулей.

Если в высшей степени сложные нормы поведения — как, например, влюбленность, дружба, иерархические устремления, ревность, скорбь и т. д. и т. п. — у серых гусей и у человека не только похожи, но и просто-таки совершенно одинаковы до забавных мелочей — это говорит нам наверняка, что каждый такой инстинкт выполняет какую-то совершенно определенную роль в сохранении вида, и притом такую, которая у гусей и у людей почти или совершенно одинакова. Поведенческие совпадения могут возникнуть только так.

Как подлинные естествоиспытатели, не верящие в «безошибочные инстинкты» и прочие чудеса, мы считаем самоочевидным, что каждый такой поведенческий акт является функцией соответствующей специальной телесной структуры, состоящей из нервной системы, органов чувств и т. д.; иными словами — функцией структуры, возникшей в организме под давлением отбора. Если мы с помощью какой-нибудь электронной или просто мысленной модели попытаемся представить себе, какую *сложность* должен иметь физиологический аппарат такого рода, чтобы произвести хотя бы, к примеру, социальное поведение триумфального крика, то с изумлением обнаружим, что такие изумительные органы, как глаз или ухо, кажутся чем-то совсем простеньким в сравнении с этим аппаратом.

Чем сложнее и специализированнее два органа, аналогично устроенных и выполняющих одну и ту же функцию, тем больше у нас оснований объединить их общим, функционально определенным понятием и обозначить одним и тем же названием, хотя их эволюционное происхождение совершенно различно. Если, скажем, каракатицы или головоногие, с одной стороны, и позвоночные — с другой, независимо друг от друга изобрели глаза,

которые построены по одному и тому же принципу линзовой камеры и в обоих случаях состоят из одних и тех же конструктивных элементов — линза, диафрагма, стекловидное тело и сетчатка, — то нет никаких разумных доводов против того, чтобы оба органа у каракатиц и у позвоночных называть глазами, *безо всяких кавычек*. С таким же правом мы можем это себе позволить и в отношении элементов социального поведения высших животных, которое, как минимум по многим признакам, аналогично поведению человека.

Высокомерным умникам сказанное в этой главе должно послужить серьезным предупреждением. У животного, даже не принадлежащего к привилегированному классу млекопитающих, исследование обнаруживает механизм поведения, который соединяет определенных индивидов на всю жизнь и превращается в сильнейший мотив, определяющий все поступки, который перебивает все «животные» инстинкты — голод, сексуальность, агрессию и страх — и создает общественные отношения в формах, характерных для данного вида. Такой союз по всем пунктам аналогичен тем отношениям, какие у нас, у людей, складываются на основе любви и дружбы в их самом чистом и благородном проявлении <...>.

13. СЕ ЧЕЛОВЕК

Я на то, с ноги снимая
свой сапог, ему ответил:
«Это, Демон, страшный символ
человека: вот нога из
грубой кожи; то, что больше
не природа, но и в дух
не превратилось; нечто меж звериной
лапой и сандалией Гермеса».

Х. Моргенцтерн

Предположим, что некий беспристрастный этолог сидит на какой-то другой планете, скажем на Марсе, и наблюдает социальное поведение людей с помощью зрительной трубы, увеличение которой слишком мало, чтобы можно было узнавать отдельных людей и прослеживать их индивидуальное поведение, но вполне достаточно, чтобы наблюдать такие крупные события, как переселение народов, битвы и т.п. Ему никогда не пришло бы в голову, что человеческое поведение направляется разумом или тем более ответственной моралью.

Если предположить, что наш внеземной наблюдатель — это чисто интеллектуальное существо, которое само лишено каких-либо инструментов и ничего не знает о том, как функционируют инстинкты вообще и агрессия в частности и каким образом их

функции могут нарушаться, ему было бы очень нелегко понять историю человечества. Постоянно повторяющиеся события этой истории нельзя объяснить, исходя из человеческого разума. Сказать, что они обусловлены тем, что обычно называют «человеческой натурой», — это пустые слова. Разумная, но нелогичная человеческая натура заставляет две нации состязаться и бороться друг с другом, даже когда их не вынуждает к этому никакая экономическая причина; она подталкивает к ожесточенной борьбе две политические партии или религии, несмотря на поразительное сходство их программ всеобщего благополучия; она заставляет какого-нибудь Александра или Наполеона жертвовать миллионами своих подданных ради попытки объединить под своим скипетром весь мир. Примечательно, что в школе мы учимся относиться к людям, совершавшим все эти дикости, с уважением, даже почитать их как великих мужей. Мы приучены покоряться так называемой политической мудрости государственных руководителей — и настолько привыкли ко всем таким явлениям, что большинство из нас не может понять, насколько глупо, насколько вредно для человека историческое поведение народов.

Но если осознать это, невозможно уйти от вопроса: как же получается, что предположительно разумные существа могут вести себя столь неразумно? Совершенно очевидно, что здесь должны действовать какие-то подавляющие сильные факторы, способные полностью вырывать управление у человеческого разума и, кроме того, совершенно не способные учиться на опыте. Как сказал Гегель, уроки истории учат нас, что народы и правительства ничему не учатся у истории и не извлекают из нее никаких уроков.

Все эти поразительные противоречия находят естественное объяснение и полностью поддаются классификации, если заставить себя осознать, что социальное поведение людей диктуется отнюдь не только разумом и культурной традицией, но по-прежнему подчиняется еще и тем закономерностям, которые присущи любому филогенетически возникшему поведению, а эти закономерности мы достаточно хорошо узнали, изучая поведение животных.

Предположим теперь, что наш наблюдатель-инопланетянин — это опытный этолог, досконально знающий все, что кратко изложено в предыдущих главах. Тогда он должен сделать неизбежный вывод, что с человеческим обществом дело обстоит почти так же, как с обществом крыс, которые так же социальны и миролюбивы внутри замкнутого клана, но сущие дьяволы по отношению к сородичу, не принадлежащему к их собственной партии. Если бы наш наблюдатель на Марсе узнал еще и о демографическом взрыве, о том, что оружие становится все ужаснее, а человечество разделилось на несколько политических лагерей, — он оценил бы наше

будущее не более оптимистично, чем будущее нескольких враждебных крысиных стай на почти опустошенном корабле. Притом этот прогноз был бы еще слишком хорош, так как о крысах можно предсказать, что после Великого Истребления их останется достаточно, чтобы сохранить вид; в отношении людей, если будет использована водородная бомба, это весьма проблематично.

В символе Древа Познания заключена глубокая истина. Знание, выросшее из абстрактного мышления, изгнало человека из рая, в котором он, бездумно следуя своим инстинктам, мог делать все, что ему хотелось. Происходящее из этого мышления вопрошающее экспериментирование с окружающим миром подарило человеку его первые орудия: огонь и камень, зажатый в руке. И он сразу же употребил их для того, чтобы убивать и жарить своих собратьев. Это доказывают находки на стоянках синантропа: возле самых первых следов использования огня лежат раздробленные и отчетливо обожженные человеческие кости. Абстрактное мышление дало человеку господство над всем вневидовым окружением и тем самым спустило с цепи внутривидовой отбор, а мы уже знаем, к чему это обычно приводит. В «послужной список» такого отбора нужно, наверно, занести и ту гипертрофированную агрессивность, от которой мы страдаем и сегодня. Дав человеку словесный язык, абстрактное мышление одарило его возможностью передачи надындивидуального опыта, возможностью культурного развития, но это повлекло за собой настолько резкие изменения в условиях его жизни, что приспособительная способность его инстинктов потерпела крах.

Можно подумать, что каждый дар, достающийся человеку от его мышления, в принципе должен быть оплачен какой-то опасной бедой, которая неизбежно идет следом. На наше счастье, это не так, потому что из абстрактного мышления вырастает и та разумная *ответственность* человека, на которой только и основана надежда управиться с постоянно растущими опасностями.

Чтобы придать какую-то обозримость моему представлению о современном биологическом состоянии человечества, я хочу рассмотреть отдельные угрожающие ему опасности в той же последовательности, в какой они перечислены выше, а затем перейти к обсуждению ответственной морали, ее функций и пределов ее действенности.

В главе о моралеподобном поведении мы уже слышали о тех тормозящих механизмах, которые сдерживают агрессию у различных общественных животных и предотвращают ранение или смерть сородича. Как там сказано, естественно, что эти механизмы наиболее важны и потому наиболее развиты у тех животных, которые в состоянии легко убить существо примерно своего размера. Ворон может выбить другому глаз одним ударом клюва, волк может одним-единственным укусом вспороть другому яремную вену. Если

бы надежные запреты не предотвращали этого — давно не стало бы ни воронов, ни волков. Голубь, заяц и даже шимпанзе не в состоянии убить себе подобного одним-единственным ударом или укусом. К тому же добавляется способность к бегству, развитая у таких не слишком вооруженных существ настолько, что позволяет им уходить даже от «профессиональных» хищников, которые в преследовании и в убийстве более сильны, чем любой, даже самый быстрый и сильный сородич. Поэтому на свободной охотничьей тропе обычно не бывает, чтобы такое животное могло серьезно повредить себе подобного; и соответственно нет селекционного давления, которое вырабатывало бы запреты убийства. Если тот, кто держит животных, к своей беде и к беде своих питомцев, не принимает всерьез внутривидовую борьбу совершенно «безобидных тварей», он убеждается, что таких запретов действительно не существует. В неестественных условиях неволи, где побежденный не может спастись бегством, постоянно происходит одно и то же: победитель старательно добывает его, медленно и ужасно. В моей книге «Кольцо царя Соломона» в главе «Мораль и оружие» описано, как горлица — символ всего самого мирного, не имеющая этих запретов, может замучить до смерти своего собрата.

Легко себе представить, что произошло бы, если бы игра природы одарила какого-нибудь голубя вороньим клювом. Положение такого выродка, наверно, было бы совершенно аналогично положению человека, который только что обнаружил возможность использовать острый камень в качестве оружия. Поневоле содрогнешься при мысли о существе, возбуждимом, как шимпанзе, с такими же внезапными вспышками ярости — и с камнем, зажатым в руке.

Общераспространенное мнение, которого придерживаются даже многие специалисты в этой области, сводится к тому, что все человеческое поведение, служащее интересам не индивида, а общества, диктуется осознанной ответственностью. Такое мнение ошибочно, что мы и покажем на конкретных примерах в этой главе. Наш общий с шимпанзе предок наверняка был, по меньшей мере, так же предан своему другу, как дикий гусь или галка, а уж тем более волк или павиан; несомненно, что он с таким же презрением к смерти был готов отдать свою жизнь, вставая на защиту своего сообщества, так же нежно и бережно относился к молодым сородичам и обладал такими же запретами убийства, как и все эти животные. На наше счастье, мы тоже в полной мере унаследовали соответствующие «животные» инстинкты.

Антропологи, которые занимались образом жизни австралопитека и африканского человека, заявляют, что эти предки — поскольку они жили охотой на крупную дичь — передали человечеству опасное наследство «природы хищника». В этом утвержде-

нии заключено опасное смешение двух понятий — хищного животного и каннибала, — в то время как эти понятия почти полностью исключают друг друга; каннибализм представляет у хищников крайне редкое исключение. В действительности можно лишь пожалеть о том, что человек как раз *не имеет* «натуры хищника». Бóльшая часть опасностей, которые ему угрожают, происходят оттого, что по натуре он сравнительно безобидное всеядное существо; у него нет естественного оружия, принадлежащего его телу, которым он мог бы убить крупное животное. Именно потому у него нет и тех механизмов безопасности, возникших в процессе эволюции, которые удерживают всех «профессиональных» хищников от применения оружия против сородичей. Правда, львы и волки иногда убивают чужих сородичей, вторгшихся на территорию их группы; может случиться даже, что во внезапном приступе ярости неосторожным укусом или ударом лапы убьют члена собственной группы, как это иногда происходит, по крайней мере в неволе. Однако подобные исключения не должны заслонять тот важный факт, что все тяжеловооруженные хищники такого рода должны обладать высокоразвитыми механизмами торможения, которые — как уже сказано в главе о моралеподобном поведении — препятствуют самоуничтожению вида.

В предыстории человека никакие особенные высокоразвитые механизмы для предотвращения внезапного убийства не были нужны — такое убийство было попросту невозможно. Нападающий, убивая свою жертву, мог только царапать, кусать или душить; причем жертва имела более чем достаточную возможность апеллировать к тормозам агрессивности нападающего — жестами покорности и испуганным криком. Понятно, что на слабовооруженных животных не действовало селекционное давление, которое могло бы вызывать к жизни те сильные и надежные запреты применять оружие, какие попросту необходимы для выживания видов, обладающих оружием опасным. Когда же изобретение искусственного оружия открыло новые возможности убийства, прежнее равновесие между сравнительно слабыми запретами агрессии и такими же слабыми возможностями убийства оказалось в корне нарушено.

Человечество уничтожило бы себя уже с помощью самых первых своих великих открытий, если бы не одно замечательное совпадение: возможность открытий, изобретений и великий дар ответственности в равной степени являются плодами одной и той же сугубо человеческой способности, способности задавать вопросы. Человек не погиб в результате своих собственных открытий — по крайней мере до сих пор — только потому, что он способен поставить перед собой вопрос о последствиях своих поступков — и ответить на него. Этот уникальный дар не принес человечеству гарантий против самоуничтожения. Хотя со времени от-

крытия камня выросли и моральная ответственность, и вытекающие из нее запреты убийства, но, к сожалению, в равной мере возросла и легкость убийства, а главное — утонченная техника убийства привела к тому, что последствия деяния уже не тревожат того, кто его совершил. Расстояние, на котором действует все огнестрельное оружие, спасает убийцу от раздражающей ситуации, которая в другом случае оказалась бы в чувствительной близости от него, во всей ужасной отвратительности последствий. Эмоциональные глубины нашей души попросту не принимают к сведению, что сгибание указательного пальца при выстреле разворачивает внутренности другого человека. Ни один психически нормальный человек не пошел бы даже на охоту, если бы ему приходилось убивать дичь зубами и ногтями. Лишь за счет отгораживания наших чувств становится возможным, чтобы человек, который едва ли решился бы дать вполне заслуженный шлепок хамоватому ребенку, вполне способен нажать пусковую кнопку ракетного оружия или открыть бомбовые люки, обрекая сотни самых прекрасных детей на ужасную смерть в огне. Бомбовые ковры расстилали добрые, хорошие, порядочные отцы — факт ужасающий, сегодня почти неправдоподобный! Демагоги обладают, очевидно, очень хорошим, хотя и только практическим знанием инстинктивного поведения людей — они целенаправленно, как важное орудие, используют отгораживание подстрекаемой партии от раздражающих ситуаций, тормозящих агрессивность.

С изобретением оружия связано господство внутривидового отбора и все его жуткие проявления. В главе 3, где речь шла о видосохраняющей функции агрессии, и в главе 10 — об организации сообщества крыс — я достаточно подробно разъяснил, как конкуренция сородичей, если она действует без связи с вневидовым окружением, может привести к своим странным и нецелесообразным уродствам. Мой учитель Хейнрот для иллюстрации такого вредного воздействия приводил в пример крылья аргус-фазана и темп работы в западной цивилизации. Как уже упоминалось, я считаю, что и гипертрофия человеческого агрессивного инстинкта — это следствие той же причины.

В 1955 году я писал в небольшой статье «Об убийстве сородича»: «Я думаю — специалистам по человеческой психологии, особенно глубинной, и психоаналитикам следовало бы это проверить, — что сегодняшний цивилизованный человек вообще страдает от недостаточной разрядки инстинктивных агрессивных побуждений. Более чем вероятно, что пагубные проявления человеческого агрессивного инстинкта, для объяснения которых Зигмунд Фрейд предположил особый инстинкт смерти, основаны просто-напросто на том, что внутривидовой отбор в далекой древности снабдил человека определенной мерой агрессивности, для которой он не находит адекватного выхода при современной орга-

низации общества». Если в этих словах чувствуется легкий упрек, сейчас я должен решительно взять его назад. К тому времени, когда я это писал, уже были психоаналитики, совершенно не верившие в инстинкт смерти и объяснявшие самоуничтожительные проявления агрессии как нарушения инстинкта, который в принципе должен поддерживать жизнь. Я даже познакомился с человеком, который уже в то время — в полном соответствии с только что изложенной постановкой вопроса — изучал проблему гипертрофированной агрессивности, обусловленной внутривидовым отбором.

Сидней Марголин, психиатр и психоаналитик из Денвера, штат Колорадо, провел очень точное психоаналитическое и социально-психологическое исследование на индейцах прерий, в частности из племени юта, и показал, что эти люди тяжело страдают от избытка агрессивных побуждений, которые им некуда деть в условиях урегулированной жизни сегодняшней индейской резервации в Северной Америке. По мнению Марголина, в течение сравнительно немногих столетий, во время которых индейцы прерий вели дикую жизнь, состоявшую почти исключительно из войн и грабежей, чрезвычайно сильное селекционное давление должно было заметно усилить их агрессивность. Вполне возможно, что значительные изменения наследственной картины были достигнуты за такой короткий срок; при жестком отборе породы домашних животных меняются так же быстро. Кроме того, в пользу предположения Марголина говорит то, что индейцы-юта, выросшие при другом воспитании, страдают так же, как и старшие соплеменники, а также и то, что патологические проявления, о которых идет речь, известны только у индейцев из прерий, племена которых были подвержены упомянутому процессу отбора.

Индейцы-юта страдают неврозами чаще, чем какие-либо другие группы людей; и Марголин обнаружил, что общей причиной этого заболевания оказывается постоянно подавленная агрессивность. Многие индейцы чувствуют себя больными и говорят, что они больны, но на вопрос, в чем же состоит их болезнь, не могут дать никакого ответа, кроме одного: «Но ведь я — юта!» Насилие и убийство по отношению к чужим — в порядке вещей; по отношению к соплеменникам, напротив, оно крайне редко, поскольку запрещено табу, безжалостную суровость которого так же легко понять из предыдущей истории юта: племя, находившееся в состоянии непрерывной войны с белыми и с соседними племенами, должно было любой ценой пресекать ссоры между своими членами. Убивший соплеменника был обязан, согласно традиции, покончить с собой. Эта заповедь оказалась в силе даже для юта-полицейского, который, пытаясь арестовать соплеменника, застрелил его при вынужденной обороне. Тот, напившись, ударил своего отца ножом и попал в бедренную артерию, что вызывало

смерть от потери крови. Когда полицейский получил приказ арестовать убийцу, — хотя о преднамеренном убийстве не было и речи, — он обратился к своему бледнолицему начальнику с рапортом. Аргументировал он так: преступник хочет умереть, он обязан совершить самоубийство и теперь наверняка совершит его таким образом, что станет сопротивляться аресту и вынудит его, полицейского, его застрелить. Но тогда и самому полицейскому придется покончить с собой. Поскольку более чем недалековидный сержант настаивал на своем распоряжении — трагедия развивалась, как и было предсказано. Этот и другие протоколы Марголина читаются, как древнегреческие трагедии, в которых неотвратимая судьба вынуждает людей быть виновными и добровольно искупать невольно совершенные грехи.

Объективно и убедительно, даже доказательно говорит за правильность марголинской интерпретации такого поведения юта их предрасположенность к несчастным случаям. Доказано, что «предрасположенность к авариям» является следствием подавленной агрессии; у индейцев-юта норма автомобильных аварий чудовищно превышает норму любой другой группы автомобилистов. Кому приходилось когда-нибудь вести скоростную машину, будучи в состоянии ярости, тот знает — если только он был при этом способен к самонаблюдению, — насколько сильно проявляется в такой ситуации склонность к самоуничтожающим действиям. По-видимому, и выражение «инстинкт смерти» произошло от таких особых случаев.

Разумеется, внутривидовой отбор и сегодня действует в нежелательном направлении, но обсуждение всех этих явлений увело бы нас слишком далеко от темы агрессии. Отбор так же интенсивно поощряет инстинктивную подоплеку накопительства, тщеславия и прочего, как подавляет простую порядочность. Нынешняя коммерческая конкуренция грозит вызвать по меньшей мере такую же ужасную гипертрофию упомянутых побуждений, какую у внутривидовой агрессии вызвало военное состязание людей каменного века. Счастье лишь в том, что выигрыш богатства и власти не ведет к многочисленности потомства, иначе положение человечества было бы еще хуже.

Кроме действия оружия и внутривидового отбора головокружительно растущий *темп развития* — это третий источник бед, который человечество должно принимать в расчет, пользуясь великим даром своего абстрактного мышления. Из абстрактного мышления и всех его результатов — прежде всего из символики словесной речи — у людей выросла способность, которой не дано ни одному другому существу. Когда биолог говорит о наследовании приобретенных признаков, то он имеет в виду лишь приобретенное изменение наследственности, генома. Он совершенно не задумывается о том, что «наследование» имело — уже за много

веков до Грегора Менделя — юридический смысл, и что это слово поначалу применялось к биологическим явлениям по чистой аналогии. Сегодня это второе значение слова стало для нас настолько привычным, что меня бы наверно не поняли, если бы я просто написал: «Только человек обладает способностью передавать по наследству приобретенные качества». Я здесь имею в виду следующее: если человек, скажем, изобрел лук и стрелы — или украл их у более развитого соседа, — то в дальнейшем не только его потомство, но и все его сообщество *имеет в распоряжении* это оружие так же постоянно, как если бы оно было телесным органом, возникшим в результате мутации и отбора. Использование этого оружия забудется не легче, чем станет рудиментарным какой-нибудь столь же жизненно важный орган.

Даже если один-единственный индивид приобретает какую-то важную для сохранения вида особенность или способность, она тотчас же становится общим достоянием всей популяции; именно это и обуславливает упомянутое тысячекратное ускорение исторического процесса, который появился в мире вместе с абстрактным мышлением. Процессы приспособливания, до сих пор поглощавшие целые геологические эпохи, теперь могут произойти за время нескольких поколений. На эволюцию, на филогенез, протекающий медленно, почти незаметно в сравнении с новыми процессами, отныне накладывается история; над филогенетическим возникшим сокровищем наследственности возвышается громадное здание исторически приобретенной и традиционно передаваемой культуры.

Как применение оружия и орудий труда и выросшее из него мировое господство человека, так и третий, прекраснейший дар абстрактного мышления влечет за собой свои опасности. Все культурные достижения человека имеют одно большое «но»: они касаются только тех его качеств и действий, которые подвержены влиянию индивидуальной модификации, влиянию обучения. Очень многие из врожденных поведенческих актов, свойственных нашему виду, *не таковы*: скорость их изменения в процессе изменения вида осталась такой же, с какой изменяются все телесные признаки, с какой шел весь процесс становления до того, как на сцене появилось абстрактное мышление.

Что могло произойти, когда человек впервые взял в руку камень? Вполне вероятно, нечто подобное тому, что можно наблюдать у детей в возрасте двух-трех лет, а иногда и старше: никакой инстинктивный или моральный запрет не удерживает их от того, чтобы изо всей силы бить друг друга по голове тяжелыми предметами, которые они едва могут поднять. Вероятно, первооткрыватель камня так же мало колебался, стукнуть ли своего товарища, который его только что разозлил. Ведь он не мог знать об ужасном действии своего изобретения; врожденный запрет убийства тогда,

как и теперь, был настроен на его естественное вооружение. Смутился ли он, когда его собрат по племени упал перед ним мертвым? Мы можем предположить это почти наверняка. Общественные высшие животные часто реагируют на внезапную смерть сородича самым драматическим образом. Серые гуси стоят над мертвым другом с шипением, в наивысшей готовности к обороне. Это описывает Хейнрот, который однажды застрелил гуся в присутствии его семьи. Я видел то же самое, когда египетский гусь ударил в голову молодого серого; тот, шатаясь, добежал до родителей и тотчас умер от мозгового кровоизлияния. Родители не могли видеть удара и потому реагировали на падение и смерть своего ребенка точно так же. Мюнхенский слон Вастл, который без какого-либо агрессивного умысла, играя, тяжело ранил своего служителя, пришел в величайшее волнение и встал над раненым, защищая его, чем, к сожалению, помешал оказать ему своевременную помощь. Бернхард Гржимек рассказывал мне, что самец шимпанзе, который укусил и серьезно поранил его, пытался стянуть пальцами края раны, когда у него прошла вспышка ярости.

Вполне вероятно, что первый Каин тотчас же понял ужасность своего поступка. Довольно скоро должны были пойти разговоры, что если убивать слишком много членов своего племени — это поведет к нежелательному ослаблению его боевого потенциала. Какой бы ни была воспитательная кара, предотвращавшая беспрепятственное применение нового оружия, во всяком случае, возникла какая-то, пусть примитивная, форма ответственности, которая уже тогда защищала человечество от самоуничтожения.

Таким образом, первая функция, которую выполняла ответственная мораль в истории человечества, состояла в том, чтобы восстановить утраченное равновесие между вооруженностью и врожденным запретом убийства. Во всех прочих отношениях требования разумной ответственности могли быть у первых людей еще совсем простыми и легко выполнимыми.

Рассуждение не будет слишком натянутым, если мы предположим, что первые настоящие люди, каких мы знаем из доисторических эпох, — скажем, кроманьонцы, — обладали почти в точности такими же инстинктами, такими же естественными склонностями, что и мы; что в организации своих сообществ и в столкновениях между ними они вели себя почти так же, как некоторые еще и сегодня живущие племена, например папуасы центральной Новой Гвинеи. У них каждое из крошечных селений находится в постоянном состоянии войны с соседями, в отношениях взаимной умеренной охоты за головами. «Умеренность», как ее определяет Маргарэт Мид, состоит в том, что не предпринимаются организованные разбойничьи походы с целью добычи вожделенных человеческих голов, а лишь при okazji, случайно встре-

тив на границе своей области какую-нибудь старуху или пару детей, «зовут с собой» их головы.

Ну а теперь, предполагая наши допущения верными, представим себе, что мужчина живет в таком сообществе с десятком своих лучших друзей, с их женами и детьми. Все мужчины неизбежно должны стать побратимами; они — *друзья* в самом настоящем смысле слова, каждый не раз спасал другому жизнь. И хотя между ними возможно какое-то соперничество из-за главенства, из-за девушек и т.д., — как бывает, скажем, у мальчишек в школе, — оно неизбежно отходит на задний план перед постоянной необходимостью вместе защищаться от враждебных соседей. А сражаться с ними за само существование своего сообщества приходилось так часто, что все побуждения внутривидовой агрессии насыщались с избытком. Я думаю, что при таких обстоятельствах в этом содружестве из пятнадцати мужчин любой из нас уже *по естественной склонности* соблюдал бы десять заповедей Моисея по отношению к своему товарищу и не стал бы ни убивать его, ни клеветать на него, ни красть жену его или что бы там ни было ему принадлежащее. Безо всяких сомнений, каждый по естественной склонности стал бы чтить не только отца своего и мать, но и вообще всех старых и мудрых, что и происходит, по Фрезер Дарлинг, уже у оленей, и уж тем более у приматов, как явствует из наблюдений Уошбэрна, Дэворэ и Кортландта.

Иными словами, естественные наклонности человека не так уж и дурны. От рождения человек вовсе не так уж плох, он только *недостаточно хорош* для требований жизни современного общества.

Уже само увеличение количества индивидов, принадлежащих к одному и тому же сообществу, должно иметь два результата, которые нарушают равновесие между важнейшими инстинктами взаимного притяжения и отталкивания, т.е. между личными узами и внутривидовой агрессией. Во-первых, для личных уз вредно, когда их становится слишком много. Старинная мудрая пословица гласит, что по-настоящему хороших друзей у человека много быть не может. Большой «выбор знакомых», который неизбежно появляется в каждом более крупном сообществе, уменьшает прочность каждой отдельной связи. Во-вторых, скученность множества индивидов на малом пространстве приводит к притуплению всех социальных реакций. Каждому жителю современного большого города, перекормленному всевозможными социальными связями и обязанностями, знакомо тревожащее открытие, что уже не испытываешь той радости, как ожидал, от посещения друга, даже если действительно любишь его и давно его не видел. Замечаешь в себе и отчетливую наклонность к ворчливому недовольству, когда после ужина еще звонит телефон. Возрастающая готовность к агрессивному поведению является характерным следствием скученности; социологи-экспериментаторы это давно уже знают.

К этим нежелательным последствиям увеличения нашего общества добавляется и невозможность разрядить весь объем агрессивных побуждений, «предусмотренный» для вида. Мир — это первейшая обязанность горожанина, а враждебная соседняя деревня, которая когда-то предлагала объект для высвобождения внутривидовой агрессии, ушла в далекое прошлое.

Чем больше развивается цивилизация, тем более благоприятны все предпосылки для нормальных проявлений нашей естественной склонности к социальному поведению, а требования к нему постоянно возрастают: мы должны обращаться с нашим «ближним» как с лучшим другом, хотя, быть может, в жизни его не видели; более того, с помощью своего разума мы можем прекрасно сознавать, что обязаны любить даже врагов наших, — естественные наклонности никогда бы нас до этого не довели... Все проповеди аскетизма, предостерегающие от того, чтобы отпустить узду инстинктивных побуждений, учение о первородном грехе, утверждающее, что человек от рождения порочен, — все это имеет общее рациональное зерно: понимание того, что человек не смеет слепо следовать своим врожденным наклонностям, а должен учиться властвовать над ними и ответственно контролировать их проявления.

Можно ожидать, что цивилизация будет развиваться все более ускоренным темпом — хотелось бы надеяться, что культура не будет от нее отставать, — и в той же мере будет возрастать и становиться все тяжелее бремя, возложенное на ответственную мораль. Расхождение между тем, что человек готов сделать для общества, и тем, чего общество от него требует, будет расти; и ответственности будет все труднее сохранять мост через эту пропасть. Эта мысль очень тревожит, потому что при всем желании не видно каких-либо селективных преимуществ, которые хоть один человек сегодня мог бы извлечь из обостренного чувства ответственности или из добрых естественных наклонностей. Скорее следует серьезно опасаться, что нынешняя коммерческая организация общества своим дьявольским влиянием соперничества между людьми направляет отбор в прямо противоположную сторону. Так что задача ответственности постоянно усложняется и с этой стороны.

Мы не облегчим ответственной морали решение всех этих проблем, переоценивая ее силу. Гораздо полезнее скромно осознать, что она — «всего лишь» *компенсационный механизм*, который приспособливает наше инстинктивное наследие к требованиям культурной жизни и *образует с ним функционально единую систему*. Такая точка зрения разъясняет многое из того, что непонятно при ином подходе.

Мы все *страдаем* от необходимости подавлять свои побуждения; одни больше, другие меньше — по причине очень разной врожденной склонности к социальному поведению. По добромому,

старому психиатрическому определению, *психопат* — это человек, который либо страдает от требований, предъявляемых ему обществом, либо заставляет страдать само общество. Так что, в определенном смысле, *все* мы психопаты, поскольку навязанное общим благом отречение от собственных побуждений заставляет страдать каждого из нас. Но особенно это определение относится к тем людям, которые в результате ломаются и становятся либо невротиками, т.е. больными, либо преступниками. В соответствии с этим точным определением «нормальный» человек отличается от психопата или добрый гражданин от преступника — вовсе не так резко, как здоровый от больного. Различие, скорее, аналогичное тому, какое существует между человеком с компенсированной сердечной недостаточностью и больным, страдающим «некомпенсированным пороком», сердце которого при возрастающей мышечной нагрузке уже не в состоянии справиться с недостаточным закрыванием клапана или с его сужением. Это сравнение оправдывается и тем, что компенсация *требует* затрат *энергии*.

Такая точка зрения на ответственную мораль может разрешить противоречие в Кантовой концепции морали, которое поразило уже Фридриха Шиллера. Он говорил, что Гердер — это «одухотвореннейший из всех кантианцев»; восставал против отрицания какой-либо ценности естественных наклонностей в этике Канта и издевался над ней в замечательной эпиграмме: «Я с радостью служу другу, но, к несчастью, делаю это по склонности, потому меня часто гложет мысль, что я не добродетелен!»

Однако мы не только *служим* своему другу по собственной склонности, мы еще и *оцениваем* его дружеские поступки с точки зрения того, в самом ли деле теплая естественная склонность побудила его к такому поведению! Если бы мы были до конца последовательными кантианцами, то должны были бы поступать наоборот и ценить прежде всего такого человека, который по натуре совершенно нас не переносит, но которого «ответственный вопрос к себе», *вопреки* его сердечной склонности, заставляет вести себя прилично по отношению к нам. Однако в действительности мы относимся к таким благодетелям в лучшем случае с весьма прохладным вниманием, а *любим* только того, кто относится к нам по-дружески потому, что это доставляет ему радость, и если делает что-то для нас, то не считает, будто совершил нечто, достойное благодарности.

Когда мой незабвенный учитель Фердинанд Хохштеттер в возрасте 71 года читал свою прощальную лекцию, тогдашний ректор Венского университета сердечно благодарил его за долгую и плодотворную работу. На эту благодарность Хохштеттер дал ответ, в котором сконцентрирован весь парадокс ценности — или ее отсутствия — естественных наклонностей. Он сказал так: «Вы здесь благодарите меня за то, за что я не заслуживаю ни малейшей

благодарности. Надо благодарить моих родителей, моих предков, которые дали мне в наследство именно такие, а не другие наклонности. Но если вы спросите меня, чем я занимался всю жизнь и в науке, и в преподавании, то я должен честно ответить: я, собственно, всегда делал то, что доставляло мне наибольшее удовольствие!»

Какое замечательное возражение! Этот великий натуралист, который — я это знаю совершенно точно — никогда не читал Канта, принимает здесь именно его точку зрения по поводу ценностной индифферентности естественных наклонностей, но в то же время примером своей ценнейшей жизни и работы приводит Кантово учение о ценностях к еще более полному абсурду, нежели Шиллер в своей эпиграмме. И выходом из этого противоречия становится очень простое решение кажущейся проблемы, если признать ответственную мораль компенсационным механизмом и не отрицать ценности естественных наклонностей.

Если приходится оценивать *поступки* какого-то человека, в том числе и собственные, то — очевидно — они оцениваются тем выше, чем меньше соответствовали простым и естественным наклонностям. Однако если нужно оценить самого человека — например, при выборе друзей, — с той же очевидностью предпочтение отдается тому, чье дружеское расположение определяется вовсе не разумными соображениями — как бы высокоморальны они ни были, — а исключительно чувством теплой естественной склонности. Когда мы подобным образом используем для оценки человеческих поступков и самих людей совершенно разные критерии — это не только не парадокс, но проявление простого здравого смысла.

Кто ведет себя социально уже по естественной склонности, тому в обычных обстоятельствах почти не нужны механизмы компенсации, а в случае нужды он обладает мощными моральными резервами. Кто уже в повседневных условиях вынужден тратить все сдерживающие силы своей моральной ответственности, чтобы держаться на уровне требований культурного общества, — тот, естественно, гораздо раньше ломается при возрастании нагрузки. Энергетическая сторона нашего сравнения с пороком сердца и здесь подходит очень точно, поскольку возрастание нагрузки, при которой социальное поведение людей становится «не компенсированным», может быть самой различной природы, но так или иначе «истощает силы». Мораль легче всего отказывает не под влиянием одиночного, резкого и чрезмерного испытания, легче всего это происходит под воздействием истощающего, долговременного нервного перенапряжения, какого бы рода оно ни было. Заботы, нужда, голод, страх, переутомление, крушение надежд и т.д. — все это действует одинаково. Кто имел возможность наблюдать множество людей в условиях такого рода — на войне или в заклю-

чении, — тот знает, насколько непредвиденно и внезапно наступает моральная декомпенсация. Люди, на которых, казалось, можно положиться как на каменную гору, неожиданно ломаются, а в других, не вызывающих особого доверия, открываются просто-таки неисчерпаемые источники сил, и они одним лишь своим примером помогают бесчисленному множеству остальных сохранить моральную стойкость. Однако пережившие нечто подобное знают и то, что сила доброй воли и ее устойчивость — две независимые переменные. Осознав это, основательно учишься не чувствовать себя выше того, кто сломался раньше, чем ты сам. Наилучший и благороднейший в конце концов доходит до такой точки, что больше не может: «Эли, Эли, ламма ассахфани?» («Господи, Господи, зачем оставил меня?») — последние слова Христа: арамейская вставка в греческом и других текстах Евангелия).

В соответствии с этикой Канта только внутренний закон человеческого разума сам по себе порождает категорический императив в качестве ответа на «ответственный вопрос к себе». Кантовы понятия «разум, рассудок» и «ум, интеллект» отнюдь не идентичны. Для него само собой разумеется, что разумное создание просто не может хотеть причинить вред другому, подобному себе. В самом слове «рас-судок» этимологически заключена способность «судить», «входить в соглашение», иными словами — существование высокоценных социальных связей между всеми разумными существами. Для Канта совершенно ясно и самоочевидно то, что для этолога нуждается в разъяснении: тот факт, что человек не хочет вредить другому. Великий философ предполагает здесь очевидным нечто, требующее объяснения, и это — хотя и вносит некоторую непоследовательность в великий ход его мыслей — делает его учение более приемлемым для биолога. Тут появляется небольшая лазейка, через которую в изумительное здание его умозаключений — чисто рациональных — может пробраться чувство, иными словами, инстинктивная мотивация. Кант и сам не верил, что человек удерживается от каких-либо действий, к которым его побуждают естественные склонности, чисто разумным пониманием логического противоречия в нормах его поступков. Совершенно очевидно, что необходим еще и эмоциональный фактор, чтобы преобразовать некое чисто рассудочное осознание в императив или в запрет. Если мы уберем из нашего жизненного опыта эмоциональное чувство ценности — скажем, ценности различных ступеней эволюции, — если для нас не будут представлять никакой ценности человек, человеческая жизнь и человечество в целом, то самый безукоризненный аппарат нашего интеллекта останется мертвой машиной без мотора. Сам по себе он в состоянии лишь дать нам средство к достижению каким-либо образом поставленной цели, но не может ни определить эту цель, ни отдать приказ к ее достижению. Если бы мы были нигилистами типа Мефистофеля и считали бы, что «нет в мире вещи,

стоящей пощады», — мы могли бы нажать пусковую кнопку водородной бомбы, и это никак бы не противоречило нормам нашего разумного поведения.

Только ощущение ценности, только чувство присваивает знак «плюс» или «минус» ответу на наш «категорический самовопрос» и превращает его в императив или в запрет. Так что и тот и другой вытекает не из рассудка, а из прорывов той тьмы, в которую наше сознание не проникает. В этих словах, лишь косвенно доступных человеческому разуму, унаследованное и усвоенное образует в высшей степени сложную структуру, которая не только состоит в теснейшем родстве с такой же структурой высших животных, но в значительной своей части попросту ей идентична. По существу, наша отлична от той лишь постольку, поскольку у человека в усвоенное входит культурная традиция. Из структуры этих взаимодействий, протекающих почти исключительно в подсознании, вырастают побуждения ко всем нашим поступкам, в том числе и к тем, которые сильнейшим образом подчинены управлению нашего самовопрошающего разума. Так возникают любовь и дружба, все теплые чувства, понятие красоты, стремление к художественному творчеству и к научному познанию. Человек, избавленный от всего, так сказать, «животного», лишенный подсознательных стремлений, человек как чисто разумное существо *был бы отнюдь не ангелом, скорее наоборот!*

Однако нетрудно понять, каким образом могло утвердиться мнение, будто все хорошее — и только хорошее, — что служит человеческому сообществу, обязано своим существованием морали, а все «эгоистичные» мотивы человеческого поведения, которые не согласуются с социальными требованиями, вырастают из «животных» инстинктов. Если человек задаст себе категорический вопрос Канта: «Могу ли Я норму своего поведения возвысить до уровня естественного закона или при этом возникло бы нечто, противоречащее разуму?» — то все поведение, в том числе и инстинктивное, окажется в высшей степени разумным при условии, что оно выполняет задачи сохранения вида, ради которых оно было создано Великими Конструкторами эволюции. *Противоразумное возникает лишь в случае нарушения какого-либо инстинкта.* Отыскать это нарушение — задача категорического вопроса, а компенсировать — категорического императива. Если инстинкты действуют правильно, «по замыслу конструкторов», вопрос к себе не сможет отличить их от разумного. В этом случае вопрос: «Могу ли Я возвысить норму моих поступков до уровня естественного закона?» имеет бесспорно положительный ответ, ибо эта норма уже сама является таким законом!

Ребенок падает в воду, мужчина прыгает за ним, вытаскивает его, исследует норму своего поступка и находит, что она — будучи возвышена до естественного закона — звучала бы примерно

так: «Когда взрослый самец Homo sapiens видит, что жизни детеныша его вида угрожает опасность, от которой он может его спасти, он это делает». Находится такая абстракция в каком-либо противоречии с разумом? Конечно же, нет! Спаситель может хлопнуть себя по плечу и гордиться тем, как разумно и морально он себя вел. Если бы он на самом деле занялся этими рассуждениями, ребенок давно бы уже утонул, прежде чем он прыгнул бы в воду. Однако человек — по крайней мере принадлежащий нашей западной культуре — крайне неохотно узнает, что действовал он чисто инстинктивно, что каждый павиан в аналогичной ситуации сделал бы то же самое.

Древняя китайская мудрость гласит, что не все люди есть в зверях, но все звери есть в людях. Однако из этого вовсе не следует, что этот «зверь в человеке» с самого начала являет собой нечто злое и опасное, по возможности подлежащее искоренению. Существует одна человеческая реакция, в которой лучше всего проявляется, насколько необходимо может быть безусловно «животное» поведение, унаследованное от антропоидных предков, причем именно для поступков, которые не только считаются сугубо человеческими и высокоморальными, но и на самом деле являются таковыми. Эта реакция — так называемое *воодушевление*. Уже само название, которое создал для нее немецкий язык, подчеркивает, что человеком овладевает нечто очень высокое, сугубо человеческое, а именно — дух. Греческое слово «энтузиазм» означает даже, что человеком владеет Бог. Однако в действительности воодушевленным человеком овладевает наш давний друг и недавний враг — внутривидовая агрессия в форме древней и едва ли сколь-нибудь сублимированной реакции социальной защиты.

В соответствии с этим воодушевление пробуждается с предсказуемостью рефлекса во всех внешних ситуациях, требующих вступления в борьбу за какие-то социальные ценности, особенно за такие, которые освящены культурной традицией. Они могут быть представлены конкретно — семья, нация, Alma Mater или спортивная команда — либо абстрактными понятиями, как прежнее величие студенческих корпораций, неподкупность художественного творчества или профессиональная этика индуктивного исследования. Я одним духом называю подряд разные вещи, которые кажутся ценными мне самому или, непонятно почему, видятся такими другим людям, со специальным умыслом показать недостаток избирательности, который при случае позволяет воодушевлению стать столь опасным.

В раздражающих ситуациях, которые наилучшим образом вызывают воодушевление и целенаправленно создаются демагогами, прежде всего должна присутствовать угроза высокопочитаемым ценностям. Враг или его муляж могут быть выбраны почти произвольно и — подобно угрожаемым ценностям — могут быть

конкретными или абстрактными. «Эти» евреи, боши, гунны, эксплуататоры, тираны и т.д. годятся так же, как мировой капитализм, большевизм, фашизм, империализм и многие другие «измы». Во-вторых, к раздражающей ситуации такого рода относится и по возможности увлекающая за собой фигура вождя, без которой, как известно, не могут обойтись даже самые антифашистски настроенные демагоги, ибо вообще одни и те же методы самых разных политических течений обращены к инстинктивной природе человеческой реакции воодушевления, которую можно использовать в своих целях. Третьим, и почти самым важным фактором воодушевления является еще и по возможности наибольшее количество увлеченных. Закономерности воодушевления в этом пункте совершенно идентичны закономерностям образования анонимных стай, описанным в главе 8: увлекающее действие стаи растет, по-видимому, в геометрической прогрессии при увеличении количества индивидов в ней.

Каждый сколь-нибудь чувствительный человек знает, какие субъективные ощущения сопровождают эту реакцию. Прежде всего она характеризуется качеством чувства, известного под именем воодушевления. По спине и — как выясняется при более внимательном наблюдении — по наружной поверхности рук пробегает «священный трепет». Человек чувствует себя вышедшим из всех связей повседневного мира и поднявшимся над ними; он готов все бросить, чтобы повиноваться зову Священного Долга. Все препятствия, стоящие на пути к выполнению этого долга, теряют всякую важность; инстинктивные запреты калечить и убивать сородичей утрачивают, к сожалению, большую часть своей силы. Разумные соображения, любая критика или встречные доводы, говорящие против действий, диктуемых воодушевлением, заглушаются за счет того, что замечательная переоценка всех ценностей заставляет их казаться не только не основательными, но и просто ничтожными и позорными. Короче, как это прекрасно выражено в украинской пословице: «Колы прапор в'ється, про голову найдється»¹.

С этими переживаниями коррелируются объективно наблюдаемые явления: повышается тонус всех поперечно-полосатых мышц, осанка становится более напряженной, руки несколько приподнимаются в стороны и слегка поворачиваются внутрь, так что локти выдвигаются наружу. Голова гордо поднята, подбородок выдвинут вперед, а лицевая мускулатура создает совершенно определенную мимику, всем нам известную из кинофильмов, — «героическое лицо». На спине и по наружной поверхности рук

¹ «Wenn die Fahn flieg, ist der Verstand in der Tromplete!» (нем.). Мы дали приблизительный вариант украинской пословицы и будем признательны читателям, которые помогут уточнить текст этой поговорки.

топорщатся кожные волосы — именно это и является объективной стороной пресловутого «священного трепета».

В священности этого трепета и в одухотворенности воодушевления усомнится тот, кто видел соответствующие поведенческие акты самца шимпанзе, который с беспримерным мужеством выходит защищать свое стадо или семью. Он тоже выдвигает вперед подбородок, напрягает все тело и поднимает локти в стороны; у него тоже шерсть встает дыбом, что приводит к резкому и наверняка устрашающему увеличению контура его тела при взгляде спереди. Поворот внутрь совершенно очевидно предназначен для того, чтобы вывести наружу наиболее заросшую сторону и тем усилить упомянутый эффект. Общая комбинация осанки и вздыбленной шерсти служит тому же «блефу», что и у горящейся кошки: она выполняет задачу изобразить животное более крупным и опасным, чем на самом деле. Так что и наш «священный трепет» — это не что иное, как попытка взъерошить остатки некогда бывшего меха.

Что переживает обезьяна при своей социальной защитной реакции, этого мы не знаем; однако вполне вероятно, что она так же самоотверженно и героически ставит на карту свою жизнь, как и воодушевленный человек. Нет сомнений в подлинной эволюционной гомологии реакций защиты стада у шимпанзе и воодушевления у человека; более того, можно очень хорошо представить себе, как одно произошло из другого. Ведь и у нас те ценности, на защиту которых мы поднимаемся с воодушевлением, имеют прежде всего общественную значимость. Если мы припомним сказанное в главе «Привычка, церемония и волшебство»¹, покажется почти невероятным, что реакция, которая первоначально служила защите индивидуально знакомого, конкретного члена сообщества, все больше и больше брала под свою защиту надындивидуальные, передаваемые традицией культурные ценности, имеющие более долгую жизнь, нежели группы отдельных людей.

Если наше мужественное выступление за то, что нам кажется высочайшей ценностью, протекает по тем же нервным путям, что и социальные защиты реакции наших антропоидных предков, — я воспринимаю это не как отрезвляющее напоминание, а как чрезвычайно серьезный призыв к самопознанию. Человек, у которого такой реакции нет, — это калека в смысле инстинктов, и я не хотел бы иметь его своим другом, но тот, кого увлекает слепая рефлекторность этой реакции, представляет собой угрозу для человечества: он легкая добыча тех демагогов, которые умеют провоцировать раздражающие ситуации, вызывающие человеческую агрессивность, так же хорошо, как мы — разбираться в физиологии поведения наших подопытных животных. Когда при звуках старой песни или какого-нибудь марша по мне хочет пробе-

¹ Данная глава не приводится в тексте хрестоматии. — *Прим. ред.*

жать священный трепет, я обороняюсь от искушения и говорю себе, что шимпанзе тоже производят ритмичный шум, готовясь к совместному нападению. Подпевать — значит класть палец в рот дьяволу.

Воодушевление — это настоящий автономный инстинкт человека, как, скажем, инстинкт триумфального крика у серых гусей. Оно обладает своим собственным поисковым поведением, своими собственными вызывающими стимулами, и доставляет — как каждый знает по собственному опыту — настолько сильное удовлетворение, что противиться его заманчивому действию почти невозможно. Как триумфальный крик очень существенно влияет на социальную структуру серых гусей, даже господствует в ней, так инстинкт воодушевленного боевого порыва в значительной степени определяет общественную и политическую структуру человечества. Оно не потому агрессивно и постоянно готово к борьбе, что разделено на партии, враждебно противостоящие друг другу; оно структурировано именно таким образом потому, что это предоставляет раздражающую ситуацию, необходимую для разрядки социальной агрессии. «Если бы какое-то вероучение на самом деле охватило весь мир, — пишет Эрих фон Хольст, — оно бы тотчас же раскололось по меньшей мере на два резко враждебных толкования (одно истинное, другое еретическое), и вражда и борьба процветали бы, как и раньше, ибо человечество, к сожалению, таково, каково оно есть».

Таков Двуликий Янус — человек. Единственное существо, способное с воодушевлением посвящать себя высшим целям, нуждается для этого в психофизиологической организации, звериные особенности которой несут в себе опасность, что оно будет убивать своих собратьев в убеждении, будто так надо для достижения тех самых высших целей. Се человек!

Лоренц К. Агрессия. — М., 1994.

Автокатализ — химическая реакция, в которой для синтеза определенного вещества требуется присутствие этого же вещества, которое, ускоряя химическую реакцию, играет роль катализатора.

Адроны — элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии.

Аминокислоты — мономеры белков.

Андромеда (Туманность Андромеды) — ближайшая к нам галактика, сравнимая по размерам с нашей галактикой.

Античастицы — элементарные частицы, обладающие теми же свойствами, что и обычные частицы, имеющие противоположный по знаку электрический заряд (позитрон, антипротон и т.д.).

Антропный принцип — учение, объясняющее наблюдаемые свойства Вселенной тем, что при других свойствах возникновение жизни было бы невозможно, и, следовательно, не было бы самих наблюдателей.

Атом — фундаментальная строительная единица материи, состоящая из ядра и движущихся по орбитам электронов.

Белки — полимеры, состоящие из нескольких сотен аминокислот. Основной строительный материал живого.

Белый карлик — горячая звезда с очень высокой плотностью (размер порядка размера Земли, а масса порядка массы Солнца). У белых карликов прекратился термоядерный синтез, и они слабо светятся только за счет остаточного тепла.

Биоэтика — междисциплинарное научное направление, рассматривающее отношение к живой природе в свете нравственных ценностей и этические проблемы, встающие на современном этапе развития естествознания.

Бозоны — элементарные частицы, имеющие целочисленный спин и переносящие физические взаимодействия.

Большой взрыв — часть космологической теории расширяющейся Вселенной. Считается, что произошел примерно 13,7 млрд лет назад в начальную фазу существования Вселенной.

Вакуум — низшее энергетическое состояние поля, при котором число квантов равно нулю.

Виртуальная частица — элементарная частица в промежуточных (не наблюдаемых) состояниях, существованием которой в квантовой механике объясняют взаимодействия и превращения частиц.

Великое объединение — класс теорий, объединяющих три негравитационных взаимодействия в рамках единого формализма.

Водород — самый легкий химический элемент, состоящий из одного протона и одного электрона. Образовался на самых ранних стадиях эво-

люции Вселенной и составляет в настоящее время по массе три четверти ее вещества.

Вторая космическая скорость — скорость, позволяющая космическому кораблю, молекуле атмосферы и т.п. преодолеть силу притяжения массивного тела. Для земли равна 11,2 км/с.

Второе начало термодинамики — закон, согласно которому полная энтропия закрытой системы постоянно растет.

Галактика — основной структурный элемент Вселенной, состоящий из объединения звездных систем, связанных между собой силой гравитации.

Гало́ — структурный элемент Галактики, приблизительно сферической формы. Состоит из темного вещества.

Гамма-лучи — коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны меньше 10^{-8} см и, вследствие этого, ярко выраженными корпускулярными свойствами.

Гелий — химический элемент, состоящий из двух протонов, двух нейтронов и двух электронов. Образовался на ранних стадиях эволюции Вселенной и составляет в настоящее время по массе четверть ее вещества. Синтезируется при термоядерных реакциях внутри звезд.

Ген — отрезок молекулы ДНК, содержащий информацию о структуре одного белка и ответственный за его синтез.

Геном — совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данной животной или растительной клетки. Геном человека содержит несколько десятков тысяч генов.

Генотип — совокупность всех наследственных факторов организма.

Глюоны — элементарные частицы, передающие сильное взаимодействие.

Гомеостаз — стремление систем к состоянию устойчивого равновесия и обособлению от внешней среды при наличии обмена энергией и веществом с ней.

Гоминиды — семейство, охватывающее ископаемые и современные виды человека.

Горизонт событий — граница области-времени вокруг «черной дыры». Все, что находится внутри горизонта событий, недоступно внешнему наблюдателю. Для невращающейся «черной дыры» радиус горизонта событий равен гравитационному радиусу.

Гормоны — (от греч. побуждаю) — вещества, вырабатываемые железами внутренней секреции и стимулирующие определенные процессы в организме.

Гравитационный коллапс — катастрофическое сжатие массивной звезды под действием сил тяготения после исчерпания в ее недрах источников ядерной энергии. Ведет к образованию пульсара, или черной дыры.

Гравитационный радиус — значение радиуса тела с заданной массой, при которой вторая космическая скорость равна скорости света. Если тело сжимается до гравитационного радиуса, оно становится «черной дырой».

Гравитация (тяготение) — универсальное взаимодействие между любыми видами материи. Взаимное притяжение тел.

Гравитон — гипотетическая частица гравитационного поля, движущаяся со скоростью света и не имеющая массы покоя (введена для объяснения гравитационного взаимодействия).

Детерминизм — учение об однозначной связи между причиной и следствием.

Диссипативные структуры (от лат. рассеивание) — новые структуры, требующие для своего становления большого количества энергии.

Длина волны — расстояние от гребня одной волны до гребня следующей. Волны разной длины соответствуют различным цветам. Длина волны красного цвета 0,00008 см, фиолетового цвета 0,00004 см.

Доплера эффект — изменение частоты колебаний или длины волны, воспринимаемой наблюдателем при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга. Если объект приближается к нам, то частота колебаний исходящих от него волн возрастает, и наоборот.

ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота, носитель наследственной информации организма.

Единая теория — любая теория, описывающая все четыре типа физических взаимодействий и все типы материи в рамках единого универсального формализма.

Жизненный цикл — совокупность фаз развития, пройдя которые, организм достигает зрелости и становится способным дать начало следующему поколению. У животных различают простой цикл и сложный — с метаморфозой (майский жук: яйцо — личинка — куколка — имаго). У высших растений различают однолетний, двухлетний и многолетний жизненные циклы.

Заряд — свойство частицы, определяющее ее способность к взаимодействию определенного типа. Например, электрический заряд определяет поведение частицы при электромагнитном взаимодействии.

Звезда — раскаленное небесное тело, находящееся в состоянии равновесия, которое обеспечивается равенством сил тяготения и сил внутреннего давления. Внутри всех главных типов звезд, за исключением белых карликов, происходят реакции термоядерного синтеза.

Измерение — независимая ось или направление в пространстве или пространстве-времени. Пространство вокруг нас имеет три измерения, а наше пространство-время имеет четыре измерения.

Импульс — в физике — произведение массы на скорость; в физиологии — быстро распространяющаяся по нервному волокну волна возбуждения, возникающая при раздражении окончания чувствительного нервного волокна, тела нервной клетки или самого нервного волокна (сопровождается быстрым изменением возбудимости, проводимости, обмена веществ и физических свойств нервного волокна).

Инбридинг — скрещивание между собой двух близкородственных организмов для увеличения продуктивности сельскохозяйственных растений и животных.

Инвариант — свойство системы, остающееся неизменным в процессе ее развития.

Информация (в объективном научном смысле) — мера организованности системы.

Инерциальная система — система, движущаяся прямолинейно и равномерно, в которой выполняются законы классической механики.

Инстинкт — сложная врожденная стереотипная форма поведения, возникающая в ответ на определенные изменения окружающей среды и имеющая большое значение для выживания организма.

Интерференция — взаимное наложение волн.

Инфляция — колоссальное расширение (раздувание) с огромной скоростью Вселенной на ранних этапах ее развития.

Калибровочный (векторный) бозон — элементарные частицы, передающие слабые взаимодействия.

Катализатор — вещество, которое влияет на химическую реакцию, оставаясь в итоге в неизменном количестве.

Квазар — мощные источники электромагнитного излучения, представляющие собой очень активные ядра далеких галактик.

Квант — неделимая порция какой-либо величины (энергии и т. п.).

Квантовая механика — современная теория, объясняющая процессы в микромире.

Квантовая хромодинамика (КХД) — релятивистская квантовая теория поля, описывающая сильные взаимодействия и свойства кварков.

Квантовые флуктуации — случайное поведение системы на микро-скопическом уровне вследствие соотношения неопределенностей.

Кварк — элементарные частицы с дробным зарядом, из которых, по современным физическим представлениям, состоят все сильновзаимодействующие (внутриядерные) частицы.

Ключевой раздражитель — стимул, который опознается животным при первом предъявлении без всякого индивидуального опыта.

Коллайдер — ускоритель на встречных пучках элементарных частиц.

Комета — маломассивное небесное тело, состоящее в основном из льда и пыли и движущееся вокруг Солнца по сильно вытянутой орбите. При приближении к Солнцу у кометы образуется хвост, состоящий из газа и пыли, всегда направленный в сторону от Солнца. Предполагается, что вокруг Солнца вращается около триллиона комет.

Комменсализм — форма симбиоза, при которой один из партнеров извлекает пользу из совместного существования с другим партнером, а тот не имеет от этого ни пользы, ни вреда.

Корпускулярно-волновой дуализм — фундаментальное понятие квантовой механики, отражающее то, что объекты микромира проявляют как волновые свойства, так и свойства частиц.

Космические лучи — поток элементарных частиц высокой энергии, приходящих на Землю со всех направлений космического пространства, а также рожденное ими в атмосфере Земли вторичное излучение.

Космогония — научное направление, изучающее происхождение Вселенной как единого целого.

Космология — наука о Вселенной как едином целом и обо всей охваченной астрономическими наблюдениями области Вселенной как части целого.

Красное смещение — эффект увеличения длин волн линий в спектре звезд по сравнению с линиями эталонных спектров (смещение линий в красную часть спектра).

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

Кросс-катализ (букв. перекрестный катализ) — химическая реакция, при которой два вещества помогают взаимному синтезу друг друга (например, нуклеиновые кислоты являются носителями информации, необходимой для синтеза протеинов, а протеины, в свою очередь, синтезируют нуклеиновые кислоты).

Лептон — элементарные частицы, относящиеся к классу фермионов, которые в отличие от таких фермионов, как кварки могут существовать самостоятельно (пример: электрон).

Либи́до (от лат. желание) — в психоанализе особая энергия, характерная для инстинктов жизни. По К. Юнгу, проявление жизненного порыва, включающего сексуальность, но не сводимого к ней (так называемый аффективный потенциал).

Литосфера — земная оболочка, включающая в себя земную кору и часть верхней мантии до астеносферы.

Макромир — мир в масштабах, с которыми люди сталкиваются в повседневной жизни.

Мантия — земная оболочка, расположенная между земной корой и внешним ядром.

Мегамир — мир в масштабах звездных систем и галактик.

Мейоз — клеточное деление, при котором набор хромосом уменьшается вдвое. Характерно для половых клеток.

Метагалактика — наблюдаемая часть Вселенной.

Микромир — мир в масштабах атомов и элементарных частиц.

Микроэволюция — эволюционные изменения, происходящие в генофондах популяции за сравнительно небольшой промежуток времени.

Митоз — клеточное деление, при котором сохраняется двойной набор хромосом.

Млечный Путь — название галактики, в которой находится Солнечная система. На ночном небе Млечный Путь выглядит слабосветящейся полосой.

Мода струны — конфигурация, в которой может находиться струна в теории струн.

Молекула — мельчайшая единица химического соединения, сохраняющая его свойства.

Мономер — элементарное звено цепочки полимеров.

Мультимир — гипотетическое обобщение, в котором наша Вселенная является лишь одной из огромного числа отдельных и самостоятельных вселенных.

Мультиплеты — группы частиц, возникающих при сильных взаимодействиях.

Мутация — ошибка в самовоспроизведении гена.

Мутуализм — взаимовыгодные отношения между двумя организмами.

Наблюдатель — идеальное лицо или устройство, измеряющее определенные свойства физической системы.

Наука — сфера человеческой деятельности, в которой вырабатываются и теоретически систематизируются знания о действительности, допускающие доказательство или эмпирическую проверку.

Научная революция — эпизоды развития науки, во время которых старая парадигма замещается целиком или частично новой парадигмой, несовместимой со старой.

Начальные условия — данные, описывающие исходное состояние физической системы.

Нейрон — нервная клетка со всеми отходящими от нее отростками.

Нейтрино — электрически нейтральная частица, относящаяся к классу лептонов и участвующая лишь в слабых взаимодействиях.

Нейтрон — электрически нейтральная частица, обычно находящаяся в ядре атома.

Нейтронные звезды — небольшие по размеру сверхплотные, состоящие в основном из нейтронов вращающиеся звезды, обладающие, как правило, сильным магнитным полем. Возникают в результате того, что оголенные ядра атомов поглощают электроны, превращая свои протоны в нейтроны, которые могут компактно упаковываться, так как нейтральны.

Нерв — совокупность нейронов и их отростков, выполняющих некоторую функцию (например зрительный нерв).

Нуклеиновые кислоты — носители генетической информации в живых телах.

Нуклеотиды — элементарные звенья нуклеиновых кислот.

Онтогенез — развитие индивида.

Определение — «речь, обозначающая суть бытия (вещи)», по Аристотелю; в современной науке — описание термина.

Органические вещества — главный субстрат живых тел, без которого жизнь была бы невозможна.

Палеоантроп — древний человек (название неандертальца).

Память — способность сохранять результаты прежних действий для использования в будущем.

Парадигма — признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают образец постановки проблем и их решений научному сообществу.

Парсек — единица длины, принимаемая в астрономии. Равна приблизительно трем световым годам.

Пептид — часть полипептидной цепи белка.

Поведение — любое изменение объекта по отношению к окружающей среде.

Полимеры — молекулы, состоящие из длинных цепей атомов — мономеров. Эти цепи свернуты в клубки.

Полипептидная цепь — цепь, получающаяся при соединении различных аминокислот.

Полисомы — комплексы из нескольких рибосом, соединенных информационной РНК.

Популяция — группа организмов, принадлежащих к одному виду и занимающих обычно четко ограниченную географическую область.

Проекция — бессознательная и чаще всего ошибочная уверенность, что субъект общения обладает такими же точно мыслями, желаниями и влечениями или, также бессознательное, наделение его своими собственными чувствами.

Прокариоты — организмы с мелкими, примитивно устроенными клетками, не имеющими четко выраженного ядра. Таковы бактерии.

Протон — положительно заряженная частица, обычно находящаяся в ядре атома.

Пульсар — переменный, строго периодический источник импульсного космического электромагнитного излучения. Согласно современным представлениям радиопульсары — быстро вращающиеся сильно намагниченные нейтронные звезды.

Реликтовое излучение — равномерно распределенное во Вселенной электромагнитное излучение, сохранившееся до наших дней со времени образования Вселенной.

Репликация — самовоспроизводство ДНК.

Рефлекс (от лат. отражение) — закономерная реакция организма на изменение внешней или внутренней среды, осуществляющаяся при посредстве центральной нервной системы в ответ на раздражение рецепторов.

Рецептор — нервное окончание, воспринимающее информацию об изменениях во внешней и внутренней среде.

Решающий эксперимент — «Р. Э. — это попытка опровергнуть теорию, и если такая попытка не приводит к успеху, а напротив, теория с её неожиданным предсказанием оказывается права, то мы вправе сказать, что теория подкрепляется этим экспериментом» (*Поппер К.* Логика и рост научного знания. — М., 1983. — С. 313).

Рибосомы — частицы, которые в большом количестве присутствуют в клетке и в которых происходит синтез белка. Рибосомы построены из белка и рибосомной РНК.

РНК — рибонуклеиновая кислота, служащая для переноса информации и синтеза белка.

Симметрия (от греч. соразмерность) — свойство системы, состоящее в том, что эта система не изменяется при определенных преобразованиях. Например, сфера симметрична относительно вращений, так как при вращении ее вид не изменяется.

Симбиоз (от греч. совместная жизнь) — форма сосуществования двух различных организмов, имеющая две разновидности — мутуализм и комменсализм.

Синапс — Место функционального контакта между нейронами, в котором происходит передача информации от одной клетки к другой.

Сингулярность — область и состояние с формально бесконечной плотностью.

Системность — внутренняя организация Вселенной, обладающая саморазвитием и эмерджентными свойствами и функционирующая по принципу обратных связей.

Соединение химическое — вещество, в которое объединены атомы различных химических элементов.

Социальное поведение — взаимодействие между особями одного и того же вида.

Стресс — сумма всех неспецифических изменений, вызванных какой-либо функцией или повреждением; определяется так же, как скорость изнашивания организма.

Струна — фундаментальный одномерный объект, являющийся основным понятием теории струн.

Темная энергия (космический вакуум) — состояние космической среды, которое характеризуется постоянной во времени и одинаковой в пространстве плотностью.

Тензор — совокупность всех величин, определяющих метрику пространства-времени и его геометрические свойства.

Триплет — кодовое число, соответствующее одной определенной аминокислоте.

Тяготение — форма взаимодействия между всеми телами. Тяготение совершенно одинаково действует на разные тела, сообщая им одинаковые ускорения независимо от их массы, химического состава и других свойств. Так, на поверхности Земли все тела падают под влиянием ее поля тяготения с одинаковым ускорением — ускорением свободного падения, что было установлено опытным путем Г. Галилеем и сформулировано как принцип строгой пропорциональности гравитационной массы, определяющей взаимодействие тела с полем тяготения и входящей в закон всемирного тяготения, и инертной массы, определяющей сопротивление тела действующей на него силе и входящей во второй закон механики Ньютона.

Фенотип — совокупность признаков организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития.

Фермионы — частицы, имеющие спин, равный половине целого. Делятся на кварки и лептоны.

Филогенез — развитие вида или другого более крупного таксона.

Фотон — элементарная частица, квант электромагнитного излучения, распространяющаяся в пространстве с предельно возможной скоростью 300 000 км/с.

Хромосома — часть ядра клетки, состоящая из белка и нуклеиновых кислот, в которой заключена наследственная информация об организме.

Центральная нервная система — головной и спинной мозг.

Черная дыра — космический объект, возникающий в результате сжатия тела гравитационными силами. Основное свойство черной дыры заключается в том, что никакие сигналы (свет, частицы), испускаемые из внутренней части черной дыры не могут выйти наружу, так как не могут преодолеть силы притяжения.

Электрон — первая элементарная частица, открытая в физике, несущая отрицательный заряд.

Энтропия — мера неоднородности распределения энергии.

Эукариоты — организмы с клетками, содержащими ядра. К таковым организмам относятся все растения и животные.

Эффектор — дифференцированная структура (клетка, ткань, орган или система органов), осуществляющая специфическую реакцию в ответ на стимулы, поступающие из нервной системы.

ПЕРСОНАЛИИ

АНДЕРСОН Карл Дейвид (1905—1991), американский физик.

БАУМ Вернер А. (род. в 1923 г.), американский астроном.

БЕРТАЛАНФИ Людвиг фон (1901—1972), австрийский биолог-теоретик, до 1948 г. работал в Венском университете, с 1949 г. — в США и Канаде.

БОР Нильс (1885—1962), датский физик-теоретик.

БРИДЖМЕН Перси (1882—1961), американский физик и философ.

БРОЙЛЬ Луи де (1892—1987), французский физик-теоретик.

БРУНО Джордано (1548—1600), итальянский философ-естествоиспытатель и поэт.

БУТЛЕРОВ Александр Михайлович (1828—1886), русский химик.

БЬЁРКНЕС Вильгельм (1862—1951), норвежский физик, метеоролог и геофизик.

БЭКОН Фрэнсис (1561—1626), английский философ и политик.

ВЁГЕНЕР Альфред (1880—1930), немецкий геофизик и метеоролог.

ВЕЙСМАН Август (1834—1914), немецкий зоолог, теоретик эволюционного учения.

ВЕРНАДСКИЙ Владимир Иванович (1863—1945), советский минералог, геохимик, биогеохимик.

ВИЛЬСОН Чарльз (1869—1959), английский физик.

ВИНЕР Норберт (1894—1964), американский математик.

ВОЛЬТЕРРА Вито (1860—1940), итальянский математик.

ГАБОР Деннис (1900—1979), физик, уроженец Будапешта, работал в Германии и Англии.

ГАЛИЛЕЙ Галилео (1564—1642), итальянский математик, физик и астроном.

ГАМОВ Георгий Александрович (1904—1968), советский физик, с 1933 г. работал в США.

ГЁДЕЛЬ Курт (1906—1978), логик и математик, уроженец Чехословакии.

ГЕЙЗЕНБЕРГ Вернер (1901—1976), немецкий физик-теоретик.

ГРАНИТ Рагнар (1900—1991), шведский физиолог.

ДАРВИН Чарльз (1809—1882), английский естествоиспытатель.

ДЕКАРТ Рене (1596—1650), французский философ, математик, физик и физиолог.

ДЕ ФРИЗ Гуго (1848—1935), нидерландский ботаник и генетик.

ДИРАК Поль (1902—1984), английский математик и физик.

ДОКУЧАЕВ Василий Васильевич (1846—1903), русский почвовед.

ДРЕЙК Фрэнк (род. в 1930 г.), американский астроном.

ЖАКОБ Франсуа (род. в 1920 г.), французский биолог.

ЖОЛИО-КЮРИ Ирен (1897—1956), французский физик и радиохимик.

ЖОЛИО-КЮРИ Фредерик (1900—1958), французский физик.

КАРНАП Рудольф (1891—1970), австрийский философ и логик, работал в Австрии, Германии, Чехословакии, с 1935 г. — в США.

КЕНДРЮ Джон Коудери (1917—1997), английский биохимик.

КРИК Фрэнсис (род. в 1916 г.), английский физик, работающий в области молекулярной биологии.

ЛАПЛАС Пьер (1749—1827), французский астроном, математик и физик.

ЛОБАЧЕВСКИЙ Николая Иванович (1792—1856), русский математик.

ЛОРЕНЦ Конрад (1903—1989), австрийский зоолог.

ЛЬВОВ Андре (1902—1994), французский микробиолог и биохимик.

МАЙКЕЛЬСОН Альберт (1852—1931), американский физик, уроженец Польши.

МАКСВЕЛЛ Джеймс (1831—1879), английский физик.

МЕНДЕЛЕЕВ Дмитрий Иванович (1834—1907), русский химик.

МЕНДЕЛЬ Грегор (1822—1884), чешский естествоиспытатель.

МИЛЛЕР Стэнли (род. в 1930 г.), американский биолог.

МИНКОВСКИЙ Оскар (1864—1931), немецкий математик и физик, уроженец Литвы.

МОНО Жак (1910—1976), французский биохимик.

МОРГАН Томас (1866—1945), американский биолог.

МОХОРОВИЧИЧ Андрей (1857—1936), югославский геофизик и сейсмолог.

МЮЛЛЕР Пауль (1899—1965), швейцарский химик.

НОРРИШ Рональд (1897—1978), английский физикохимик.

НЬЮТОН Исаак (1642—1727), английский физик, математик и астроном.

ОПАРИН Александр Иванович (1894—1980), советский биохимик.

ОППЕНГЕЙМЕР Джакоб Роберт (1904—1967), американский физик-теоретик.

ПАВЛОВ Иван Петрович (1849—1936), советский физиолог.

ПЛАНК Макс (1858—1947), немецкий физик-теоретик.

ПОЛИНГ Лайнус (1901—1994), американский физик и химик.

ПРИГОЖИН Илья (1917—2003), бельгийский физик, уроженец Москвы.

ПУАНКАРЕ Жюль Анри (1854—1912), французский математик, физик и философ.

РЕЗЕРФОРД Эрнест (1871—1937), английский физик, уроженец Новой Зеландии.

СЁЛЬЕ Ганс (1907—1982), канадский биолог, патолог, физиолог, уроженец Вены.

СЕМЁНОВ Николай Николаевич (1896—1986), советский физик и физико-химик.

ТАУНС Чарлз (род. в 1915 г.), американский физик.

ТЕЛЛЕР Эдвард (род. в 1908 г.), американский физик, уроженец Будапешта.

ТИНБЕРГЕН Николас (1907—1988), нидерландский зоолог и этолог, с 1949 г. работал в Англии.

ТЬЮРИНГ Алан (1912—1954), английский математик;

УОТСОН Джеймс (род. в 1928 г.), американский биохимик, работал также в Дании и Англии.

УХТОМСКИЙ Алексей Алексеевич (1875—1942), советский физиолог.

ФЕРМИ Энрико (1901—1954), итальянский физик, с 1938 г. — в США.

ФРЕЙД Зигмунд (1856—1939), австрийский невропатолог и психиатр.

ФРИДМАН Александр Александрович (1888—1985), советский физик и математик.

ХАББЛ Эдвин (1899—1953), американский астроном, уроженец Сан-Марино.

ХЬЮИШ Энтони (род. в 1924 г.), английский астроном.

ЦИОЛКОВСКИЙ Константин Эдуардович (1857—1935), советский теоретик космонавтики.

ШАВЛОВ Артур (род. в 1921 г.), американский физик.

ШЕННОН Клод (род. в 1916 г.), американский математик.

ШЕРРИНГТОН Чарлз (1857—1952), английский нейрофизиолог.

ШЛИК Мориц (1882—1936), австрийский философ и физик, уроженец Германии.

ШРЁДИНГЕР Эрвин (1887—1961), австрийский физик-теоретик.

ЭЙГЕН Манфред (род. в 1927 г.), немецкий физикохимик.

ЭЙНШТЕЙН Альберт (1879—1955), физик-теоретик и философ, родился в Германии.

ЮКАВА Хидэки (1907—1981), японский физик.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ КО ВСЕМУ КУРСУ

- Азимов А.* Краткая история химии. — М., 1983.
- Вернадский В. И.* Биосфера. — Различные издания.
- Винер Н.* Кибернетика. — М., 1968.
- Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989.
- Грин Б.* Элегантная вселенная: Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. — М., 2008.
- Гумилев Л. Н.* Этногенез и биосфера Земли. — Различные издания.
- Кендрию Дж.* Нить жизни. — М., 1968.
- Краткий миг торжества.* — М., 1989.
- Кун Т.* Структура научных революций. — М., 1975.
- Лидсей Д. Э.* Рождение Вселенной. — М., 2005.
- Лоренц К.* Агрессия. — М., 1994.
- Поппер К.* Логика и рост научного знания. — М., 1983.
- Поршнев Б. Ф.* О начале человеческой истории. — М., 1974.
- Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. — М., 1986.
- Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант. — М., 1994.
- Пуанкаре А.* О науке. — М., 1983.
- Селье Г.* От мечты к открытию. — М., 1987.
- Сноу Ч.* Две культуры. — М., 1973.
- Тейяр де Шарден П.* Феномен человека. — М., 1973.
- Тинберген Н.* Социальное поведение животных. — М., 1992.
- Фрейд З.* Психология бессознательного. — М., 1989.
- Черепашук А. М., Чернин А. Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. — Фрязино, 2007.
- Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. — М., 1965.
- Эшби У. Р.* Введение в кибернетику. — М., 1959.
- Эшби У. Р.* Конструкция мозга. — М., 1964.
- Юнг К.* Архетип и символ. — М., 1991.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ТЕМЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И ДОКЛАДОВ НА СЕМИНАРАХ

1. Что такое наука? Ее основные черты и отличия от других отраслей культуры.
2. Что такое естествознание? Отличие естествознания от других областей науки.
3. Сущность и основные особенности научно-технической революции.
4. Классификация естественных наук.
5. Структура естественно-научного познания.
6. Общенаучные и конкретно-научные методы исследования.
7. Специфика научных революций.
8. Научные революции в XX в.
9. Теория познания и современное естествознание.
10. Основные методологические концепции развития современного естествознания.
11. Современная научная картина мира.
12. Этические проблемы естествознания.
13. Перспективы естественно-научного познания.
14. Концепции сциентизма и антисциентизма.
15. Место и роль науки в общественной жизни современного человека.
16. Связь современного естественно-научного познания с техникой.
17. Экологическое значение естествознания.
18. Роль математики в современном естествознании.
19. Модель Большого взрыва и расширяющейся Вселенной.
20. Происхождение и развитие галактик и звезд.
21. Происхождение Солнечной системы.
22. Проблема множественности разумных миров и изучение НЛО.
23. Современные проблемы астрофизики.
24. Проблемы происхождения и развития Земли.
25. Основные положения глобальной тектоники.
26. Главные выводы специальной и общей теории относительности.
27. Современные проблемы квантовой механики.
28. Роль вероятностных методов в классической физике и квантовой механике.
29. Значение синергетики для современного естественно-научного познания.
30. Общенаучное значение понятия «энтропия».
31. Проблемы соотношения вещества и поля, материи и энергии.
32. Роль симметрии и асимметрии в научном познании.
33. Проблемы соотношения сохранения и эволюции.

34. Современные представления о пространстве и времени.
35. Характеристика основных физических взаимодействий.
36. Основные проблемы современной химии.
37. Проблема детерминизма и индетерминизма в современном естествознании.
38. Проблема сущности живого и его отличия от неживой материи.
39. Естественно-научные модели происхождения жизни.
40. Основные проблемы генетики и роль воспроизводства в развитии живого.
41. Современные проблемы цитологии и роль клетки в развитии живого.
42. Основные проблемы синтетической теории эволюции.
43. Роль мутаций и окружающей среды в эволюции живого.
44. Основные проблемы экологии и роль среды для жизни.
45. Закономерности развития экологических систем.
46. Роль разнообразия в живой природе.
47. Учение В. И. Вернадского о биосфере.
48. Иерархическое строение биосферы и трофические уровни.
49. Механизмы обратной связи и их значение.
50. Организация и самоорганизация в живой природе.
51. Основные проблемы этологии и роль агрессии в эволюции видов.
52. Гипотеза Геи-Земли как единого организма и ее естественно-научное обоснование.
53. Основные различия между растениями и животными.
54. Представление о коэволюции.
55. Влияние космического излучения и солнечной энергии на живые тела и общественные процессы.
56. Новые данные о происхождении человека и поиски его прародины.
57. Основные проблемы социобиологии.
58. Человек как предмет естествознания.
59. Естественно-научный статус психоанализа.
60. Бихевиоризм и проблема психогенеза.
61. Модель «расширяющегося сознания» и ее соотношение с классическими представлениями.
62. Основные проблемы парапсихологии.
63. Основные методы современной нейрофизиологии.
64. Проблемы этнологии и концепция Л. Н. Гумилева.
65. Основные проблемы кибернетики.
66. Роль информации как общенаучного понятия и его соотношение с понятиями вещества и энергии.
67. Значение системного, структурного и функционального подходов в современном естествознании.
68. Донаучное, научное и телеологическое понимание целесообразности.
69. Соотношение глобальной экологии, социальной экологии и экологии человека.
70. Концепция ноосферы и ее научный статус.
71. Естественно-научное обоснование нравственности.
72. Наука как эволюционный механизм.

ТЕМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТАМ И ЭКЗАМЕНАМ

1. Основные особенности научно-технической революции.
2. Характерные черты науки и ее отличие от других отраслей культуры.
3. Предмет естествознания, отличие естествознания от других областей науки.
4. Структура естественно-научного познания.
5. Всеобщие, общенаучные и конкретно-научные методы познания.
6. Специфика научных революций и научные революции в XX в.
7. Модель Большого взрыва и расширяющейся Вселенной.
8. Происхождение и развитие галактик и звезд.
9. Происхождение Солнечной системы и развитие Земли.
10. Главные результаты общей и специальной теории относительности.
11. Особенности квантовой механики.
12. Значение синергетики для современной науки.
13. Происхождение, развитие и виды физической материи.
14. Характеристика основных физических сил и взаимодействий.
15. Современные представления о пространстве и времени.
16. Кибернетика, ее основные понятия и результаты.
17. Отличие живого от неживого и модели происхождения жизни.
18. Результаты генетики и механизм воспроизводства жизни.
19. Понятия и законы экологии.
20. Учение В. И. Вернадского о биосфере.
21. Основные положения общей теории эволюции и концепции ко-эволюции.
22. Развитие нервной системы и основные выводы этологии.
23. Основные понятия и результаты социобиологии.
24. Происхождение и эволюция человека; его отличия от животных.
25. Развитие человеческих общностей и теория этногенеза Л. Н. Гумилева.
26. Изучение мозга человека; сознание и бессознательное.
27. Гипотеза «расширяющегося сознания» и ее соотношение с классическими представлениями.
28. Научное понимание закона и целесообразности.
29. Структурные уровни организации материи и их определение.
30. Концепция ноосферы и ее научное обоснование.
31. Значение естествознания для гуманитарной культуры.
32. Будущее и идеал естествознания.
33. Личность и типы ученых.
34. Этические проблемы науки.

ПЛАН ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ НА ЗАЧЕТАХ И ЭКЗАМЕНАХ

1. Основные особенности научно-технической революции.

Определение НТР. Почему она так называется?

Время и причины возникновения НТР и ее связь с промышленной революцией XVIII — XIX вв. и с научными революциями в XX в.

Основные достижения НТР: создание атомной бомбы, выход в космос, создание ЭВМ, радиоэлектроника, «зеленая революция», использование новых металлов и химических соединений и т. д. Роль современного естествознания в достижении каждого из этих результатов.

Становление единой системы «наука — техника». Единство методологии и рациональной структуры науки и техники. Ускорение внедрения научных открытий в практику.

Отрицательные последствия НТР, их причины и способы преодоления. Роль науки в решении данной проблемы.

2. Характерные черты науки и ее отличие от других отраслей культуры.

Определение науки как отрасли культуры, системы знаний и социального института.

Характерные черты науки: универсальность, фрагментарность, общезначимость, безличность, систематичность, незавершенность, преемственность, критичность, достоверность, внеморальность, рациональность, чувственность. Их диалектическая связь.

Относительный и интересубъективный характер научных истин.

Отличие науки от других отраслей культуры: мистики, искусства, мифологии, религии, философии, техники, идеологии.

Отличие науки от обыденного сознания.

Предыстория развития науки в античном мире. Становление науки в Новое время и цели, поставленные перед ней.

Роль внешних и внутренних факторов в развитии науки. Почему наука возникла в западной культуре именно в Новое время. Закон движения Аристотеля и мысленный эксперимент Г. Галилея. Медицина в Китае и в западных странах.

Эволюция и место науки в системе культуры в наши дни.

3. Предмет естествознания и его отличие от других областей науки.

Определение естествознания как одного из циклов наук.

Роль естествознания в становлении науки. Почему физику называли «матерью наук».

Основные особенности естествознания: аналитичность, опора на эксперимент, применение математики.

Всеобщий характер истин естествознания.

Отличие естествознания от гуманитарных наук. «Две культуры» по Ч. Сноу. Споры физиков и лириков. Связь естественного и гуманитарного познания.

Отличие естествознания от технических наук. Преимущественно познавательная направленность первого и преимущественно преобразовательная направленность вторых. Связь естественных и технических наук в эпоху НТР.

Отличие естествознания от математических наук. Причины широкого применения математики в наиболее развитых областях естествознания и трудности применения в других областях.

4. Структура естественно-научного познания.

Что такое структура познания?

Два уровня естественно-научного познания и объяснение этого факта. Сходство и различия эмпирического и теоретического уровней.

Соотношение эмпирического уровня и чувственного познания, теоретического уровня и рационального познания.

Почему эмпирический уровень называется кумулятивным, а теоретический — преемственным?

Различие между аксиоматическим и гипотетико-дедуктивным методом как основным в современном естествознании, особенно в физике.

Значение выведения следствий из теории дедуктивным путем. Свойства, которыми эти следствия должны обладать. Примеры.

Способы эмпирической проверки теорий, их название и объяснение потребности в них. Различие между верификацией и фальсификацией.

5. Всеобщие, общенаучные и конкретно-научные методы познания.

Что такое метод, научный метод? Его роль в познании.

Различия между всеобщими, общенаучными и конкретно-научными методами.

Характеристика всеобщих методов: анализа и синтеза, индукции и дедукции, интуиции и дискуссии, сравнения, идеализации и т.д.

Характеристика общенаучных методов: наблюдения, эксперимента, моделирования. Специфика научного наблюдения и эксперимента.

Роль эксперимента, в том числе мысленного, в становлении естествознания в Новое время.

Теоретические методы исследования.

Характеристика конкретно-научных методов исследования. Примеры из современного естествознания.

Научный метод в естествознании как образец научной методологии.

Определение методики и методологии. Сравнение метода, методики и методологии.

Значение логики в естественно-научном познании.

6. Специфика научных революций и научные революции в XX в.

Соотношение кумулятивности и преемственности в развитии научного знания. Принцип соответствия.

Этапы развития науки по Т. Куну. Что такое «нормальная наука»?

Определение парадигмы и исследовательской программы. Различия во взглядах на научную революцию Т. Куна, К. Поппера и И. Лакатоса.

Определение понятия «научная революция». Сходства и отличия научной революции от научно-технической и социально-политической революций. Факторы, ведущие к научной революции.

Научные революции XX в. в космологии, физике, биологии, антропологии. Характеристика каждой из них и их общие черты. Влияние внешних и внутренних факторов на ход научной революции.

Возможно ли предсказание научной революции?

7. Модель Большого взрыва и расширяющейся Вселенной.

Что такое Вселенная в отличие от Универсума и бытия? Определение Вселенной.

Стационарность и нестационарность Вселенной.

Научные революции в космологии и научная революция в XX в.

Роль теории относительности в становлении новых представлений. Эмпирические подтверждения расширения Вселенной. Что такое «красное смещение» и кто его обнаружил?

Создание и характеристика модели Большого взрыва. Точка сингулярности.

Как может появиться материя из вакуума?

Проверка модели Большого взрыва. Нахождение реликтового излучения.

Что было до Большого взрыва? Бесконечность и безграничность. Соотношение конкретно-научных и философских вопросов. Близость современных космогонических представлений взглядам Гераклита и стоиков. Космос и хаос.

8. Происхождение и развитие галактик и звезд.

Зачем нужны галактики? Определение галактики.

Форма и строение галактик. Процессы, протекающие в них.

Зачем нужны звездные системы? Их структура.

Характеристика небесных тел. Отличие звезды от планеты. Что такое термоядерный синтез?

Кварзары и пульсары. Когда они были открыты? Их определение.

«Черные» и «белые» дыры. Почему они так называются? Гравитационный коллапс и антиколлапсионный взрыв.

Эволюция обычных звезд и красных гигантов и процессы, происходящие в их недрах.

Нейтронные звезды. Почему они так называются?

Суть гипотезы В. Амбарцумяна о происхождении звездных систем. Когда и в каких обстоятельствах она появилась? Что такое звездные ассоциации?

9. Происхождение Солнечной системы и развитие Земли.

Две модели происхождения Солнечной системы. Их особенности и характеристики.

Возраст Солнца и Земли и его влияние на построение данных моделей.

Строение Солнца и Солнечной системы. Влияние солнечной активности на земные процессы.

Условия, способствовавшие появлению жизни на Земле.

Строение Земли: ядро, мантия, земная кора, гидросфера, атмосфера. История Земли. Две концепции причин горообразовательных процессов в земной коре.

Гипотеза А.Вегенера о едином континенте и ее эмпирическое подтверждение в конце 50-х гг. XX в.

Тектоника литосферных плит. Что это такое и почему они движутся? Процесс образования гор на земном шаре.

10. Главные результаты специальной и общей теории относительности.

Эмпирическая основа теории относительности.

Почему она так называется и кто ее автор? Для каких процессов справедлива теория относительности?

Что относительно в теории относительности и что абсолютно?

Что такое точка отсчета?

Определение инерциальной системы. Главные выводы специальной теории относительности.

Что происходит с пространством и временем при скоростях, близких к скорости света? Определение кривизны пространства и пространственно-временного континуума.

Универсальность физических законов и потребность в общей теории относительности. Что такое неинерциальные системы? Определение системы тяготения.

Чем общая теория относительности отличается от специальной?

Как соотносятся в теории относительности материя и энергия?

Как это повлияло на законы сохранения материи и энергии?

Связь между законами сохранения и законами развития.

Возникновение проблемы создания единой теории поля.

11. Особенности квантовой механики.

Предмет квантовой механики. Специфика изучения микромира по сравнению с изучением мега- и макромира.

Понятие кванта. Отличие частицы от волны. Примеры квантово-механических объектов.

Корпускулярно-волновой дуализм и его обнаружение. Принцип дополнителности и его автор.

Что такое соотношение неопределенностей и кто его автор? Что определяют с его помощью?

Принципиальное отличие применения вероятностных методов в квантовой механике, классической физике и статистике. Понятие детерминизма, индетерминизма и неоднозначного детерминизма. Причинность и случайность. Случайность и закономерность.

Что такое субъект-объектное единство? Роль прибора в квантовой механике. Причины появления понятия физической реальности.

12. Значение синергетики для современной науки.

Предмет синергетики и ее основоположник.

Определение простой, сложной, закрытой, открытой, устойчивой и неустойчивой системы. Примеры.

Понятия энергии и энтропии, флуктуации, бифуркации. Равновесные и неравновесные области.

Связь синергетики и термодинамики. Роль энергии в образовании новых структур. Понятие диссипативной структуры. Этапы становления нового в неживой природе.

Универсальная схема развития по И. Пригожину.

Модель происхождения материи. Условия возникновения материи: предвремя и всплеск энтропии, наличие неравновесности.

Этапы создания материи: происхождение пространства и появление из него материи.

Решение синергетикой парадокса времени и космологического парадокса.

13. Происхождение, развитие и виды физической материи.

Эволюция материи после Большого взрыва: элементарные частицы, атомы, молекулы.

Модель происхождения материи по И. Пригожину. Условия, необходимые для возникновения физической материи.

Четыре состояния вещества. Что такое плазма?

Кварки и их свойства. Дробный заряд.

Два основных вида, материи. Отличие вещества от поля.

Отличие частиц от волн. Корпускулярно-волновой дуализм квантово-механических объектов.

Почему атом, химический элемент и элементарные частицы так называются?

Гравитационная и инертная массы. Их эквивалентность и отличие друг от друга.

14. Характеристика основных физических сил и взаимодействий.

Почему они так называются: силы и взаимодействия? Четыре основные физические силы. Их названия и основные характеристики.

Особенности гравитационного взаимодействия. Тяготение. Его универсальность. Что такое масса покоя? Следствия гравитационного взаимодействия и его смысл.

Особенности электромагнитного взаимодействия. Между какими телами оно действует и зачем оно нужно?

Особенности сильного и слабого взаимодействия. Почему они так называются и чем отличаются друг от друга. Значение сильного и слабого взаимодействия.

Главные отличия сильного и слабого взаимодействия от гравитационного и электромагнитного.

15. Современные представления о пространстве и времени.

Основные свойства пространства и времени в классической физике, релятивистской физике и синергетике.

Однородность и неоднородность, изотропность и анизотропность, обратимость и необратимость, абсолютность и относительность пространства и времени.

Что нового внесли теория относительности и синергетика в представления о пространстве и времени?

Отличия физического пространства от субъективного. Отличия физического времени от психологического.

Способы измерения физического времени. Понятие кривизны пространства. Что такое пространственно-временной континуум?

Парадокс времени. Как он разрешается в синергетике? Что такое предвремя?

Обратимость физических законов (в биологии и общественных науках). Биологическое и социокультурное время.

Соотношение пространства, времени и материи.

16. Кибернетика, ее основные понятия и результаты.

Предмет кибернетики и ее основоположник.

Понятие объективной информации. Как понятие информации соотносится с понятиями материи, энергии, энтропии?

Что такое «черный ящик» и обратная связь? Положительная и отрицательная обратная связь. Гомеостаз и гомеостатические системы. Примеры.

Функциональный подход и его соотношение с вещественным и структурным подходами.

Характеристика кибернетического моделирования. Модели мира как пример кибернетического моделирования. Результаты глобального моделирования.

Что такое контринтуитивный принцип?

Кибернетизация научного познания и общественной жизни.

17. Отличие живого от неживого и модели происхождения жизни.

Три основных отличия живого от неживого: по вещественному составу, структуре, функциям.

Из чего состоят живые тела? Характеристика белков и нуклеиновых кислот.

Какова структура клетки? Характеристика ядра, цитоплазмы, оболочки.

Два значения понятия самовоспроизводства: размножение и метаболизм.

Что такое метаболизм и зачем он нужен?

Причины трудности научного решения проблемы происхождения жизни. Креационизм. Панспермия.

Первая научная модель происхождения жизни, время ее появления и автор.

Предварительные условия возникновения жизни на Земле. Два этапа возникновения жизни по А. И. Опарину. Почему они так называются — химический и биохимический — и в чем их суть? Как появилась первая клетка?

Результаты эмпирической проверки модели А. И. Опарина. Кем и когда они произведены?

Почему жизнь не может зародиться на Земле сейчас? Как Л. Пастер доказал это?

18. Генетика и механизм воспроизводства жизни.

Как и когда появилась генетика? Ее создатель.

Этапы развития генетики. Характеристика каждого из них.

Что такое ген? Что изучает генетика? Значение для жизни нуклеиновых кислот.

Что такое ДНК и РНК? Структура ДНК. Почему ДНК называют нитью жизни?

Разновидности РНК. Значение каждой из них.

Что такое хромосома и рибосома? Как происходит деление клеток, ядра и ДНК. Механизм воспроизводства жизни. Как происходит биосинтез?

Что такое мутация и какие мутации бывают. Эволюция видов с точки зрения генетики.

Генная инженерия. Ее положительные результаты и потенциальные опасности (клонирование, создание новых штаммов бактерий и т. п.).

19. Понятия и законы экологии.

Экология как наука. Предмет экологии.

Основные понятия экологии: популяция, сообщество, экологическая ниша, экосистема.

Иерархическая структура экосистем. Характеристика трофических уровней.

Закономерности экологии: закон минимума, закон толерантности, принцип конкурентного исключения и т. д.

Что такое сукцессия? Этапы развития экосистем. Соотношение стадии роста и стадии зрелости. Основной закон экологии.

Взаимодействие человека с экосистемами. Глобальный экологический кризис и его причины. Какие изменения должны произойти во взаимоотношении человека с окружающей средой, чтобы преодолеть угрозу экологической катастрофы?

Результаты изучения систем «хищник — жертва» и «хозяин — паразит». Гей-гипотеза. Что такое Земля как квазживое тело? Почему Землю можно считать самоуправляемой системой?

Концепция устойчивого развития.

20. Учение В. И. Вернадского о биосфере.

Понятие биосферы до В. И. Вернадского и переосмысление им этого понятия.

Влияние на В. И. Вернадского учения В. В. Докучаева о почве.

Почему В. И. Вернадский назвал свои выводы эмпирическими обобщениями и что это такое?

Основные выводы В. И. Вернадского: принцип целостности, гармонии, растекания жизни, постоянства химического аппарата биосферы, равенства количества живого вещества и свободного кислорода, биосферы как трансформатора и т. д.

Понятие живого вещества как части биосферы.

Взгляды В. И. Вернадского на происхождение жизни на Земле.

Влияние В. И. Вернадского на создание концепции ноосферы. Собственная интерпретация В. И. Вернадским этой концепции.

Значение учения о биосфере для развития экологических исследований и решения проблемы взаимоотношений человека со средой его обитания.

21. Основные положения общей теории эволюции и концепции коэволюции.

Определение общей теории эволюции и обстоятельства ее появления. Почему она так называется?

Понятие вида как основной единицы биологической классификации. Вид и индивид. Онтогенез и филогенез.

Основные понятия в теории эволюции: адаптация, естественный и искусственный отбор, борьба за существование, приспособление.

Что такое мутации и как они приводят к эволюции видов?

Возражения против теории эволюции Ч. Дарвина и их частичное снятие генетикой.

Концепция коэволюции и ее суть. Что внесли экологические исследования в ее создание?

Как происходит эволюция видов в соответствии с концепцией коэволюции?

Соотношение между общей теорией эволюции и концепцией коэволюции.

Концепция устойчивого развития и концепция ноосферы как варианты применения коэволюции к отношениям человека и природы.

Гей-гипотеза и ее связь с концепцией коэволюции.

22. Развитие нервной системы и основные выводы этологии.

Понятие раздражимости, нейрона, синапса. Развитие нервной системы в живых телах.

Рефлекс и рефлекторная дуга. Отличие условных рефлексов от безусловных. Значение русской школы рефлексологии и учения И. П. Павлова.

Центральная нервная система. Механизм передачи нервного возбуждения от органов чувств через центральную нервную систему к исполнительным органам.

Предмет этологии и ее соотношение с рефлексологией и бихевиоризмом.

Инстинкт и его отличие от рефлекса. Основные инстинкты и их соотношение друг с другом.

Отличие научения от инстинкта. Виды научения и их отличия друг от друга. Запечатление.

Общественные формы поведения животных: анонимная стая, личная и безличная семья, кастовая и некастовая иерархическая группа.

23. Основные понятия и результаты социобиологии.

Предмет социобиологии, время и обстоятельства появления этой науки. Результаты, стимулировавшие становление социобиологии.

Генетическая предопределенность чувств и интеллекта. Изучение генов общественных животных.

Генетическое обоснование общественной жизни. Споры о генах эгоизма и альтруизма. Генетическое обоснование самопожертвования.

Понятия индивидуального, родственного и группового отбора.

Обоснованность перенесения результатов социобиологии на человека. Соотношение биологического и социального в животных и человеке. Существует ли естественный отбор в человеческом обществе? Понятие социального наследования.

Социобиологическое и социокультурное.

24. Происхождение и эволюция человека; его отличия от животных.

Отличия человека от животных: изготовление орудий, использование огня, прямохождение, захоронение трупов, понятийное мышление, речь.

Стадии развития человека и их характеристика: «человек умелый», «человек прямоходящий», неандерталец, «человек разумный».

Постепенное увеличение и усложнение мозга, создание материальной и духовной культуры, преобразование среды.

Условия происхождения человека: роль природной среды и мутаций.

Взаимоотношения первобытного человека с природой: Маугли и охотник.

Стадии хозяйственной эволюции человека: охотничье-собирательное хозяйство (дикость), неолитическая революция, земледельческо-скотоводческое хозяйство (варварство), появление первых цивилизаций.

Каменный, бронзовый, медный, железный века как стадии развития материальной культуры.

25. Развитие человеческих общностей и концепция этногенеза Л. Н. Гумилева.

Специфика общественной жизни человека и ее роль в формировании и развитии человека как вида. Социальная сущность человека.

Становление форм общественной жизни у человека: семья, род, племя, этнос.

Понятие этноса и его соотношение с понятием нации. Этногенез.

Концепция этногенеза Л. Н. Гумилева как естественно-научная. Понятие пассионарности. Причины появления пассионарных личностей. Стадии становления этноса: активная фаза формирования, акматическая фаза, инерционная фаза, мемориальная фаза, реликтовая фаза. Сравнительная характеристика каждой из фаз.

Степень научного обоснования данной концепции.

26. Изучение мозга человека; сознание и бессознательное.

Специфика человеческого мозга. Наличие локальных центров и функциональная асимметрия полушарий. Сравнительная характеристика правого и левого полушарий.

Методы изучения мозга и достижения нейрофизиологии. Ее связь с психологией.

Сознание и бессознательное как два уровня психики человека. Их отличие друг от друга.

Подсознание и сверхсознание. Бессознательное по З. Фрейду и К. Юнгу. Отличие психоанализа З. Фрейда от аналитической психологии К. Юнга.

Основные понятия психоанализа: вытеснение, замещение, «Оно», «Я», «Сверх-Я», самость.

Природа сознания. Физиологическая детерминация психических процессов.

Гуманистический психоанализ Э. Фромма.

27. Гипотеза «расширяющегося сознания» и ее соотношение с классическими представлениями.

Классическая модель сознания: сознание как продукт деятельности мозга. Зависимость сознания от сенсорной информации, предоставляемой органами чувств.

Эмпирические основания холотропной модели сознания. Ее автор и время появления. Результаты опытов под гипнозом и с применением ЛСД.

Характеристика холотропной модели сознания и ее главные отличия от классической модели. Соотношение холотропной модели с психоанализом и аналитической психологией.

Парапсихология: ее предмет, время появления и научный статус.

Трудности, перспективы и опасности, связанные с ее развитием.

Кодирование личности и психотропное оружие.

28. Научное понимание закона и целесообразности.

Закон как цель естественно-научного исследования. Понятие закона. Причины его важности в естествознании.

Типы законов, существующих в науке: детерминистский закон, вероятностный закон, закон как тенденция, закон как ограничение разнообразия. Их отличие друг от друга. Примеры различных типов законов.

Соотношение закона и целесообразности.

Донаучное, телеологическое и теологическое понимание целесообразности. Научное понимание целесообразности и его отличие от всех остальных. Примеры систем, действующих целесообразно.

Понятие целесообразного и нецелесообразного поведения. Целесообразность в неживой и живой природе.

29. Структурные уровни организации материи и их определение.

Современная естественно-научная картина мира и ее основные особенности.

Концепция структурных уровней организации материи и ее значение для естественно-научной картины мира.

Характеристика и определение основных структурных уровней: Вселенная, галактика, звездная система, планета, биосфера, сообщество, популяция, индивид, клетка, молекула, атом, элементарная частица, кварк. Способ организации и отличия каждого из этих уровней.

Принципы определения основных понятий естествознания на основе концепции структурных уровней.

Понятия организации, самоорганизации, структурного уровня.

Характеристика системного подхода.

30. Концепция ноосферы и ее научное обоснование.

Роль учения о биосфере в становлении концепции ноосферы.

Ее создатель и время появления.

Понятие ноосферы. Ее характеристика.

Научное обоснование становления ноосферы, исходя из эволюционных представлений о развитии структурных уровней организации материи.

Геогенез, биогенез, психогенез, ноогенез как последовательные стадии эволюции природы. Конечная точка становления ноосферы.

Интерпретация В. И. Вернадским концепции ноосферы как сферы взаимодействия человека с природой.

Существует ли ноосфера сейчас? Что необходимо, чтобы она возникла?

Значение учения о ноосфере для развития экологических исследований и решения проблемы гармонизации взаимодействия человека со средой его обитания.

31. Значение естествознания для гуманитарной культуры.

Две культуры по Ч. Сноу. Их сходство и различия.

Что дает естествознание для гуманитарной культуры в содержательном и методологическом плане?

Значение синергетики. Универсальная схема развития И. Пригожина. Ее возможные пути применения в гуманитарных исследованиях. Примеры из психологии и общественных наук.

Характеристика устойчивой и неустойчивой стадий развития. Точка бифуркации.

Значение этологии. Обоснование К. Лоренцем нравственности на основе изучения животных. Проблема перенесения данных, полученных этологией, на человека.

Другие примеры важности естествознания для гуманитарной культуры. Мировоззренческое значение естествознания.

32. Будущее и идеал естествознания.

Предсказуемость развития науки. Какие научные открытия в ближайшее время могут быть совершены?

Кто такие сциентисты и чем их взгляды отличаются от взглядов анти-сциентистов? Ваше отношение к дилемме сциентизм—антисциентизм.

Наука как эволюционный процесс.

Идеал науки. Зачем он нужен?

Понятия целостности, интегративности, разнообразия, гармонии. Их соотношение. Почему наука должна обладать этими качествами?

Идеал науки как целостной интегративно-разнообразной гармоничной системы.

Наука как часть биосферы и человеческой культуры. Наука и ноосфера.

33. Личностные характеристики.

Безличность науки и значение личности в науке.

Мотивы занятия научной деятельностью: удивление, творческий интерес, престиж и т.д.

Качества, необходимые ученому: честность перед самим собой, мужество, неудовлетворенность и т. д.

Типы ученых: «делатели», «думатели», «чувствователи» и т. п. (по Г. Селлье).

Роль Дж. Бруно в становлении и утверждении естествознания как главенствующей отрасли культуры.

Характеристика выдающихся ученых: И. Ньютона, А. Эйнштейна, В. И. Вернадского и др. Зависимость их вклада в науку от личностных свойств.

Тип идеального ученого и идеального ученика.

34. Этические проблемы науки.

Нравственная амбивалентность науки и важность этических проблем науки.

Роль внешних и внутренних факторов в развитии науки. Влияние на науку военно-промышленного комплекса и государства.

Роль ценностей в науке. Этические ценности. Нравственные качества ученого.

Традиционные и новые этические проблемы науки.

Биоэтика, ее предмет и принципиальные отличия от биофизики и других переходных наук. Проблемы биоэтики.

Проблемы компьютерной, инженерной, глобальной, экологической этики.

Необходимость запретов на научные исследования в определенных направлениях. Решение этой проблемы в «Новой Атлантиде».

Отношение ученых к последствиям применения их открытий.

Реальная практика запретов на исследования в области генетики и ее результаты.

Нравственные кодексы ученых.

КАЛЕНДАРЬ ОТКРЫТИЙ¹

1900 — немецкий физик Макс Планк ввел понятие кванта энергии и квантовую постоянную. М. Планк — основатель квантовой механики.

1903 — Иван Петрович Павлов на основе экспериментальных физиологических исследований разработал понятие условного рефлекса. Павлов доказал взаимообусловленность и единство психических и физиологических процессов в организме.

1905 — Альберт Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности и на основе квантовой гипотезы М. Планка ввел понятие кванта света (впоследствии названного фотоном).

1908 — Герман Минковский дал математическую формулировку теории относительности, введя понятие четырехмерного пространства — времени («четырёхмерного мира»).

1909 — открыта «поверхность Мохоровичича» — граница раздела между земной корой и мантией Земли.

1911 — создание Чарльзом Вильсоном «камеры Вильсона», позволившей наблюдать различные виды излучений, следы («треки») которых в газовой среде в комбинации с электрическими и магнитными полями становятся видимыми. При анализе этих «треков» удалось определить заряд и энергию составляющих их частиц;

— Эрнест Резерфорд пропустил α -частицы через тонкую металлическую фольгу и наблюдал их рассеяние. Только предположив существование атомных ядер, занимающих в атоме всего 1/10 000 часть его диаметра, Резерфорд смог объяснить рассеяние α -частиц в веществе. Открытие Резерфорда подтвердило гипотезу Джозефа Джона Томсона (1903) о существовании положительно заряженного ядра атома. Э. Резерфорд создал планетарную модель атома, в дальнейшем количественно разработанную Нильсом Бором.

1912 — Томас Морган предложил теорию локализации генов в хромосомах. Его генная теория основывалась на ряде законов, дополняющих законы Менделя (гены в хромосомах сцеплены друг с другом, число возможных комбинаций между генами внутри хромосом зависит от их удаленности друг от друга, гены одной и той же хромосомы образуют связанную группу, а число этих групп не превышает числа хромосомных пар).

1913 — Нильс Бор, используя квантовую гипотезу М. Планка, разработал количественную модель атома водорода, создав, таким образом, первую квантовую теорию атома.

1915 — Нобелевская премия в области физики присуждена английским физикам отцу и сыну Уильяму Генри и Уильяму Лоренсу Брэггам за исследование структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей.

¹ По материалам книги: *Фолт Я., Нова Л.* История естествознания в датах. — М., 1987.

Они экспериментально доказали периодичность атомной структуры кристаллов и тем самым заложили основы современной кристаллографии;

— немецкий геофизик Альфред Вегенер опубликовал книгу «Возникновение материков и океанов», в которой изложил свою тектоническую гипотезу дрейфа континентов и существования ранее единого континента Пангея.

1916 — А. Эйнштейн опубликовал книгу «Основы общей теории относительности».

1918 — норвежский физик и геофизик Вильгельм Бьёркнес объяснил возникновение циклонов из полярных фронтов и разработал методику составления метеорологических карт.

1919 — Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию, облучая азот α -частицами (ядрами гелия). Он получил изотоп кислорода.

1920-е гг. — экспериментально подтверждено существование ионизированного слоя в атмосфере (ионосферы), высота которого достигает 20 тыс. км. Кроме нейтральных частиц, ионосфера содержит заряженные электроны и ионы, возникающие под действием солнечного излучения.

1922 — советский геофизик и математик Александр Александрович Фридман предложил модель нестационарной расширяющейся Вселенной, основанную на релятивистской космологии.

1923 — советский физиолог Алексей Алексеевич Ухтомский создал учение о доминанте, возникновение которой определяет характер рефлекторной реакции нервной системы.

1924 — Луи де Бройль в докторской диссертации «Исследования по теории квантов» выступил с идеей о волновых свойствах материи («волны де Бройля»). Он считал, что каждую движущуюся частицу можно описать сопряжённой с ней волной. По мнению Л. де Бройля, корпускулярно-волновой дуализм присущ всем без исключения видам материи — электронам, протонам и т. п. Так возникло представление о волнах материи;

— южноафриканский анатом Раймонд Дарт обнаружил в Южной Африке ископаемые останки приматов, которые были отнесены к австралопитекам. Их возраст 1 млн лет (в настоящее время возраст этих приматов определяется в 5 млн лет).

1925 — в Дейтоне (США) за преподавание теории Чарльза Дарвина был осужден учитель Джон Скопе («обезьяний процесс»).

1926 — австрийский физик-теоретик Эрвин Шрёдингер разработал волновую механику, в основу которой положил частное дифференциальное уравнение — «уравнение Шрёдингера». Он показал эквивалентность своей волновой механики и квантовой механики в матричной форме, разработанной Вернером Гейзенбергом в 1925 г.;

— в Ленинграде издан труд Владимира Ивановича Вернадского «Биосфера», представляющий собой обобщение геологических, биологических, химических и географических данных о строении поверхности Земли.

1927 — Вернер Гейзенберг сформулировал «принцип неопределенности», согласно которому нельзя одновременно совершенно точно определить импульс и положение элементарной частицы (произведение

неопределенностей координаты и импульса ограничено некоторой минимальной величиной, равной постоянной Планка).

1928 — Поль Дирак теоретически предположил существование анти-частиц. В 1932 первая античастица — позитрон — была обнаружена в космических лучах.

1929 — публичные выступления представителей Венского кружка — учеников австрийского философа и физика Морица Шлика — Рудольфа Карнапа и других ученых, понимавших философию как логический анализ языка науки. Они выдвинули программу построения единой науки, основанной на физике (физикализм);

— американский астроном Эдвин Хаббл установил, что смещение линий в галактических спектрах в направлении к «красному» краю (так называемое красное смещение), являющееся одним из проявлений «эффекта Доплера», возрастает пропорционально расстоянию, на которое удалены объекты («закон Хаббла») и связано с разбеганием галактических образований;

— английский фармаколог и физиолог Генри Дейл установил, что возникновение электрического импульса на конце нерва или синапса, соединяющего два нейрона, сопровождается выделением адреналина или ацетилхолина. Эти вещества стимулируют нервную клетку, передающую возбуждение дальше;

— в Китае Пьер Тейяр де Шарден обнаружил синантропа — представителя древнейших ископаемых людей, близких к открытому ранее на о. Ява питекантропу. Синантропы использовали огонь 300 тыс. лет назад.

Конец 1920-х гг. — советский физик и физикохимик Николай Николаевич Семенов открыл новый вид химических реакций — разветвленные цепные реакции, в ходе которых образуются активные частицы — свободные радикалы, которые, взаимодействуя с исходным веществом, кроме продуктов реакции, вновь образуют радикалы.

1930-е гг. — австрийский зоолог Конрад Лоренц заложил основы новой области биологии — этологии (изучение поведения животных).

1930 — 1940-е гг. — формирование синтетической теории эволюции, сочетающей идеи дарвинизма с современной генетикой.

1931 — логик и математик Курт Гёдель доказал, что если теория непротиворечива и аксиомы формализованной математики суть теоремы этой теории, то такая теория не полна. Истинность (непротиворечивость) любой теории, содержащей формализованную математику, нельзя доказать с помощью конечных (финитных) процессов в рассуждениях. Таким образом, формализация имеет свои пределы;

— канадский патолог Ганс Селье ввел понятие стресса.

1932 — гипотеза Вернера Гейзенберга, Дмитрия Дмитриевича Иваненко и Игнатия Евгеньевича Тамма о строении атомного ядра из протонов и нейтронов. Число нуклонов равно массовому числу. Сумма масс нуклонов и электронов дает массу атома;

— английский физик Джеймс Чэдваик открыл нейтрон;

— австрийский биолог-теоретик Людвиг Бергаланфи разработал теорию биологических объектов как открытых систем, находящихся в состоянии динамического равновесия (так называемая «общая теория систем»);

— Чарльз Шеррингтон ввел термин «синапс» и показал значение торможения в рефлекторной деятельности спинного мозга. Школа Шеррингтона заложила основы современной нейрофизиологии.

1933 — немецкий физик Теодор Рейтинг открыл взаимную аннигиляцию частицы и античастицы.

1934 — французские физики Ирен и Фредерик Жолио-Кюри открыли искусственную радиоактивность, облучая алюминиевую фольгу α -частицами;

— Энрико Ферми установил, что при бомбардировке урана нейтронами возникают новые радиоактивные элементы.

1935 — японский физик Хидэки Юкава теоретически обосновал наличие в ядрах нестабильных элементов сильно взаимодействующих частиц (мезонов) с очень коротким периодом существования;

— началось промышленное производство синтетической ткани — «целлюлозной шерсти»;

— немецкому биологу Хансу Шпеману присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины за открытие «организационных эффектов (центров)» эмбриона. Установив взаимозависимость развития одной части зародыша от другой, Х. Шпеман сформулировал теорию «организаторов», воздействующих на развитие частей эмбриона.

1936 — английский математик Алан Тьюринг и американский математик и логик Эмиль Пост независимо друг от друга разработали концепцию «абстрактной вычислительной машины». А. Тьюринг описал также гипотетический универсальный преобразователь дискретной информации, получивший название «машины Тьюринга».

1938 — в Англии сконструирована первая система радиолокационной аппаратуры — радаров.

1939 — советский математик и экономист Леонид Витальевич Канторович выпустил в Ленинграде книгу «Математические методы организации и планирования производства», заложившую основы новой дисциплины — линейного программирования;

— Фредерик Жолио-Кюри и независимо от него Энрико Ферми установили, что расщепление урана-235 сопровождается высвобождением новых (вторичных) нейтронов. Так была открыта цепная ядерная реакция. Позже ими предложен проект первого ядерного реактора.

1941 — Норберт Винер опубликовал свой первый труд о сходстве между работой математической машины и нервной системой живого организма.

1942, август — утвержден проект «Манхэттен», связанный с разработкой атомной бомбы (руководитель — Роберт Оппенгеймер);

— осуществлена первая управляемая цепная реакция в ядерном реакторе, созданном в Чикагском университете под руководством Э. Ферми.

1943 — Отто Юльевич Шмидт выдвинул гипотезу метеоритного происхождения Солнечной системы. В 1944 опубликовано его исследование «Метеоритная теория происхождения Земли и планет».

1945, 16 августа — произведен первый экспериментальный взрыв атомной бомбы; **6 августа** — атомная бомба сброшена на Хиросиму, погибло 140 тыс. человек; **9 августа** — бомба сброшена на Нагасаки, погибло 75 тыс. человек.

1946 — Иван Иванович Шмальгаузен разработал теорию новой интегрированной формы естественного отбора — стабилизирующего отбора.

1947 — Виктор Амазаспович Амбарцумян открыл новый тип звездных систем — звездные ассоциации (динамически неустойчивые группы молодых звезд) и доказал, что процесс звездообразования во Вселенной продолжается.

1948 — Норберт Винер выпустил книгу «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине». Американский математик и инженер Клод Шеннон выпустил книгу «Математическая теория передачи информации»;

— американские физики Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Уильям Шокли создали транзистор, а венгерский физик Деннис Габор сформулировал принципы голографии;

— Нобелевская премия присуждена швейцарскому химику Паулю Мюллеру за синтез ДДТ;

— осуществлен первый термоядерный взрыв по проекту американского физика Эдварда Теллера. Начало работ над осуществлением управляемой термоядерной реакции с использованием устройства камеры-ловушки для плазмы «Токамак» (руководитель — И. Е. Тамм).

1953 — американский химик и биолог Стэнли Миллер показал возможность искусственного синтеза аминокислот из аммиака, метана, водяных паров в условиях, сходных с теми, которые могли быть на земной поверхности вскоре после образования Земли. Синтез мог начаться под воздействием электрических разрядов и ультрафиолетовых лучей;

— американский биохимик Джеймс Уотсон и английский физик Фрэнсис Крик открыли структуру ДНК.

1954 — введена в действие первая атомная электростанция в Обнинске;

— американский палеонтолог Патрик Харлей обнаружил в кремнеземе вблизи Верхнего Озера (Канада) зеленые водоросли, возраст которых, по его предположению, 2 млрд лет, и восемь аминокислот органического происхождения.

1955 — шведский физиолог Рагнар Гранит выпустил книгу «Рецепторы и сенсорное восприятие», в которой сообщил о своих экспериментах, доказавших, что импульс от отдельных клеток-рецепторов передается нервным волокном в мозг электрохимическим путем.

1956 — американский астроном Вернер Баум, наблюдая скопления галактик на рекордном удалении в 550 мегапарсек (1 мегапарсек — 10^6 3,26 световых лет), подтвердил, что Вселенная расширяется, причем увеличение скорости расширения, согласно его данным, составляет 55 км/с на 1 мегапарсек.

1957 — в г. Дубне вступил в действие крупнейший в мире ускоритель заряженных частиц — синхрофазотрон. С космодрома Байконур поднялся первый искусственный спутник Земли и спущено на воду первое в мире гражданское атомное судно — ледокол «Ленин».

1958 — по инициативе американского ученого Лайнуса Полинга более 10 тыс. ученых мира подписали обращение с призывом о прекращении опытов с ядерным оружием;

— американские физики Чарльз Таунс и Артур Шавлов теоретически обосновали конструкцию и принцип работы лазера (сокращенно с англ.

лийского: усиление света при помощи вынужденного излучения) — прибора для получения чрезвычайно интенсивных и узконаправленных пучков монохроматического светового излучения.

1960 — неудачная попытка американского астронома Фрэнка Дрейка принять радиосигналы предполагаемых разумных цивилизаций.

1961 — первый полет человека в космос, продолжавшийся 1 час 48 минут.

1963 — американский астроном Мартен Шмидт открыл квазары (источники радиоизлучения, близкого к звездному);

— английские геологи Ф. Вайн и Д. Метьюз опубликовали статью, заложившую основы тектоники литосферных плит.

1964 — английский антрополог и археолог Луис Лики в ущелье Олдувай на севере Танзании обнаружил остатки стойбища и кости четырех обезьяноподобных людей, близких к австралопитеку и названных «человек умелый».

1965 — открыто космическое реликтовое радиоизлучение. Предполагается, что это излучение является следствием взрыва первоначальной очень компактной и раскаленной Метагалактики и доказывает, таким образом, справедливость «горячей модели Вселенной».

1966 — Нобелевская премия присуждена французским биологам Франсуа Жакобу, Андре Львову и Жаку Моно за открытие так называемых структурных генов, отвечающих за синтез ферментов.

1967 — американский физик Джеральд Фейнберг и независимо от него индийский физик Эннакал Сударшан выдвинули гипотезу о существовании тахионов — частиц со скоростью большей скорости света;

— Нобелевская премия присуждена немецкому физикохимику Манфреду Эйгену и английским химикам Джорджу Портеру и Рональду Норришу за исследование сверхбыстрых химических и биохимических реакций со средней скоростью 10^{-9} с;

— южноафриканский хирург Кристиан Барнард в Кейптауне впервые осуществил операцию по пересадке сердца человеку;

— английский астроном Энтони Хьюиш и работавшая под его руководством студентка Джоселин Белл открыли в остатках сверхновых звезд пульсары (в данном случае речь шла о быстро вращающихся звездах).

1969 — впервые человек вступил на поверхность Луны.

1974 — на Первой международной конференции по этическим проблемам молекулярной биологии и генетической инженерии провозглашен временный мораторий на все опыты с рекомбинацией генетического материала.

1975 — Нобелевская премия присуждена за сфероидальную модель атомного ядра.

1994 — сообщение об открытии в США шестого, последнего кварка.

2000 — расшифровка генома человека.

2001 — рождение первого генетически модифицированного ребенка.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

ЧАСТЬ I

Концепции современного естествознания

Глава 1. Научно-техническая революция и современное естествознание	6
Глава 2. Особенности науки и ее место в культуре	17
Глава 3. История развития естествознания и его место в науке	29
Глава 4. Структура и методы естественно-научного познания	39
Глава 5. Современная астрономия	56
Глава 6. Современные науки о Земле	76
Глава 7. Релятивистская физика	85
Глава 8. Квантовая механика	98
Глава 9. Синергетика	110
Глава 10. Современная химия	120
Глава 11. Эволюционная биология	128
Глава 12. Генетика	140
Глава 13. Экология и учение о биосфере	152
Глава 14. Этология и социобиология	168
Глава 15. Современная антропология	192
Глава 16. Кибернетика	212
Глава 17. Нейрофизиология и изучение психики	221
Глава 18. Современная естественно-научная картина мира и будущее науки	237
Глава 19. Личность ученого и этика науки	247
Заключение	262
Контрольные вопросы к курсу «Концепция современного естествознания»	265

ЧАСТЬ II

Хрестоматия

<i>Карл Раймунд Поппер. Логика и рост научного знания</i>	<i>268</i>
<i>Анри Пуанкаре. О науке</i>	<i>275</i>
<i>Альберт Эйнштейн, Людвиг Инфельд. Эволюция физики: Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов</i>	<i>282</i>
<i>Вернер Гейзенберг. Физика и философия. Часть и целое</i>	<i>327</i>

<i>Илья Пригожин, Изабелла Стенгерс. Порядок из хаоса:</i>	
Новый диалог человека с природой	338
<i>Норберт Винер. Кибернетика, или Управление и связь</i>	
в животном и машине	342
<i>Джон Кендрю. Нить жизни</i>	372
<i>Владимир Иванович Вернадский. Биосфера</i>	409
Несколько слов о ноосфере	413
<i>Юджин Одум. Основы экологии</i>	423
<i>Конрад Лоренц. Агрессия</i>	437
Словарь терминов	476
Персоналии	484
Список рекомендуемой литературы ко всему курсу	487
Приложения	488
<i>Приложение 1. Темы контрольных работ и докладов</i>	
на семинарах	488
<i>Приложение 2. Темы для подготовки к зачетам и экзаменам</i>	490
<i>Приложение 3. План ответов на вопросы на зачетах</i>	
и экзаменах	491
<i>Приложение 4. Календарь открытий</i>	402

Учебное издание

Горелов Анатолий Алексеевич

Концепции современного естествознания

Учебное пособие

Редактор *И. В. Пучкова, Р. К. Лопина*

Технический редактор *Н. И. Горбачева*

Компьютерная верстка: *А. В. Бобылева*

Корректоры: *Э. Г. Юрга, О. Н. Тетерина*

Изд. № 105109042. Подписано в печать 28.08.2009. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 32,0.
Тираж 2 500 экз. Заказ №

Образовательно-издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.60.953.Д.007831.07.09 от 06.07.2009.
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48. Тел./факс: (495)648-0507, 616-0029.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page - www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) - sales@tverpk.ru