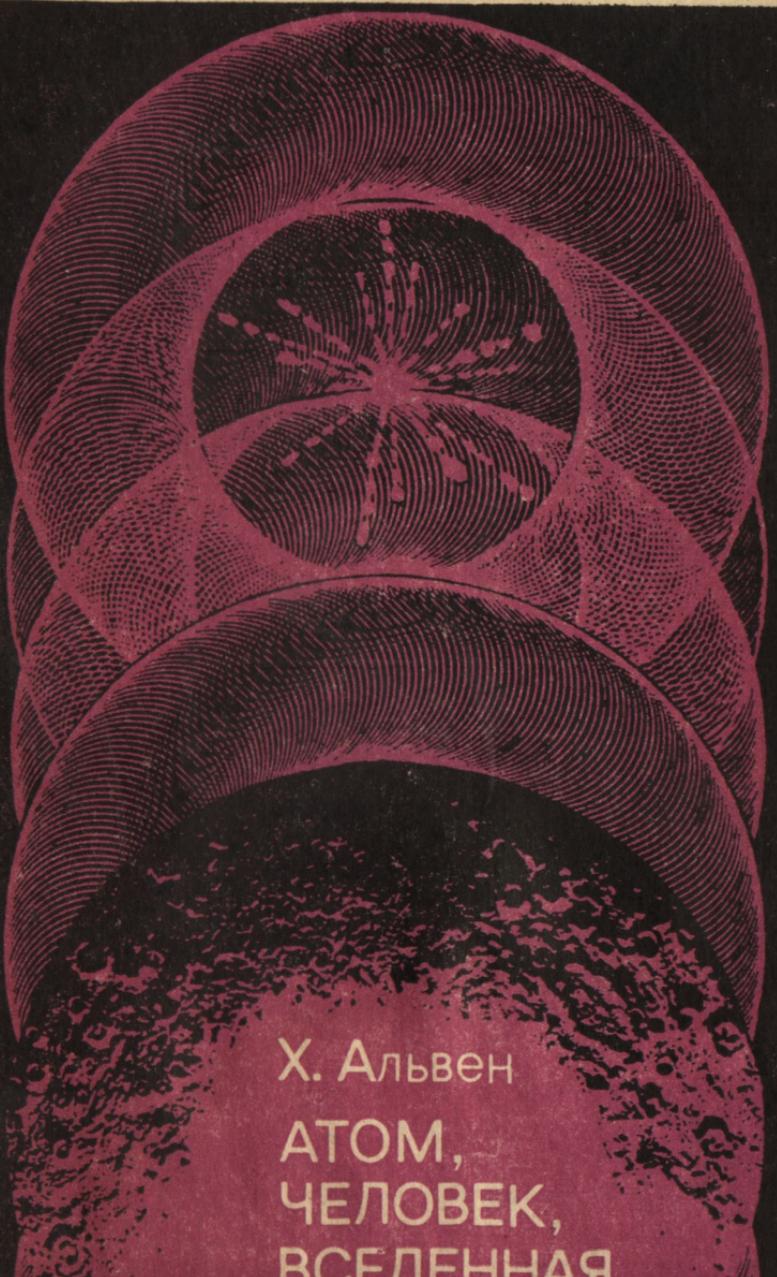


НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

1/1973

СЕРИЯ
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ



Х. Альвен
АТОМ,
ЧЕЛОВЕК,
ВСЕЛЕННАЯ

Ханнес Альвен

королевский технологический институт, Стокгольм

**АТОМ,
ЧЕЛОВЕК,
ВСЕЛЕННАЯ**

Длинная цепь усложнений

Перевел с английского
Л. Е. ЛЕВАНТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1973

Ханнес Альвен

А 56 Атом, Человек, Вселенная. М., «Знание», 1973.

(Новое в жизни, науке, технике. (Серия «Космонавтика», астрономия», 1).

С. 64

Предлагаемая читателю брошюра представляет собой сокращенный перевод книги известного шведского физика, лауреата Нобелевской премии, профессора Ханнеса Альвена. Написанная популярно и на высоком научном уровне, книга посвящена трудному и сложному вопросу о месте человека во Вселенной с точки зрения всей совокупности данных современной науки.

Брошюрой несомненно заинтересуется самый широкий круг читателей.

2-1

5

Б. З. № 44—1972 г. — № 11

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
КАК РАБОТАЕТ ЕСТЕСТВЕННАЯ НАУКА	5
ДЛИННАЯ ЦЕПЬ УСЛОЖНЕНИЙ	10
АТОМЫ И ЛЮДИ	37
КОСМИЧЕСКАЯ ПЕРСПЕКТИВА	51
ЕСТЕСТВЕННАЯ НАУКА И ИСТОРИЯ	61

Редактор *Р. Базурин*. Обложка *А. Астрецова*. Худож. редактор *В. Конюхов*. Технич. редактор *А. Красавина*. Корректор *Г. Храпова*.

Сдано в набор 25/X 1972 г. Подписано к печати 16/XI 1972 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Условн. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 4,02. Тираж 68 110. Издательство «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 2555. Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Цена 10 коп.

Предисловие

Профессор Х. Альвен — один из выдающихся современных ученых, с чьим именем связан ряд новых направлений в физике и космофизике. Особую известность принесли ему работы в области магнитогидродинамики, в частности открытые им так называемые волны Альвена.

Во всех книгах, написанных до сих пор профессором Альвеном, на различных уровнях излагаются проблемы физики, астрофизики и т. д., но не обсуждается вопрос о месте человека во Вселенной. Именно этому трудному и сложному вопросу и посвящена книга «Атом, Человек, Вселенная», при этом уникальное место человека во Вселенной толкуется в ней с точки зрения всей совокупности данных современной науки.

Скажем сразу, что и здесь отчетливо проявилось известное по другим научно-популярным книгам качество профессора Альвена как великодушного популяризатора. Книгу поймет самый широкий круг читателей, пожалуй, любой заинтересованный и внимательный человек, даже не имеющий высшего образования. Книга представляет интерес также для студентов и ученых, от физиков до биологов, от людей, изучающих общественные науки, до инженеров и т. д. К этой книге с большим вниманием отнесутся те, кто интересуется областью соприкосновения естественных и общественных наук, хотя с рядом утверждений автора нельзя согласиться.

В первом разделе 2, названном «Как работает естественная наука», дается популярное изложение того, что, по Альвену, является целью науки и каким должен быть применяемый к познанию природы научный подход.

Альвен замечает, что представления о цели науки у широкой публики весьма запутаны. Утверждается, что цель науки — технологическое развитие. Но это, продолжает автор, неверно; хотя технологическое развитие почти целиком обязано науке, все-таки цель последней — «удовлетворение любопытства человека, который стремится найти, на что похож окружающий нас мир, и установить порядок в хаосе наших опытов и наблюдений». Эта точка зрения иллюстрируется Альвеном на ряде примеров из истории физики, в частности, открытие электромагнитных волн — вершина теоретической мысли Максвелла и экспериментального искусства Герца, которые не могли и мечтать о последующем техническом развитии, а также открытие деления урана, за которым последовали беспрецедентные по масштабам применения мирного и военного характера.

Однако, как мне кажется, Альвеном несколько недооценивается обратный процесс, который особенно проявился в последние 25 лет, когда некоторые из самых абстрактных разделов науки стали финансироваться благодаря (обоснованной) надежде на то, что из этого получится что-нибудь полезное для техники.

Альвен делит ученых на три категории: 1) коллекционеры и систематизаторы; 2) инженеры науки, которые задаются целью изобретения и создания самых сложных установок, требуемых современной наукой; 3) теоретики.

Относительно теоретической научной работы Альвен думает, что один из важнейших ее элементов — эстетика. «Равно как художник выражает свое мнение и опыт через цвета, скульптор — через гипс, а музыкант — в нотах, профессионалы в науке используют формулы и законы, которые аналогично всему, что представляет концентрат окружающего нас мира, показывают высокий уровень красоты. Самой высокой оценкой, которую теоретик может получить, показав свою новую формулу коллеге, будет восторженный возглас последнего: «Очень красиво!» Совокупность суждений, составляющая некую теорию, должна быть сформулирована таким образом, чтобы она была крайне сжата. Поэтому наука нуждается в языке, способном сжимать логические формулировки. Таким языком и является математика. Но, конечно, окончательное доказательство «правоты теории» может быть найдено только в наблюдениях, а не в «математической красоте».

Второй раздел, «Длинная цепь усложнений», представляет большой интерес, и в книге Альвена он занимает центральное место.

Следует сказать, что построение этого раздела довольно оригинально по форме и, кроме того, убедительно доказывает материалистическую точку зрения, которая фактически признана большинством ученых по вопросу об отношении между миром простых и сложных объектов, между физикой, химией и биологией.

Третий раздел, «Атомы и люди», состоит из нескольких параграфов, из которых первые три называются: «Органы чувств как физические приборы», «Нервная система и ее деятельность», «Видение и телевидение», и касаются фантастической чувствительности наших органов, а также аналогии и различий между телекоммуникациями в технологии и в нашем теле. В параграфах «Математика и машины» и «Вычислительная машина» читатель может найти в доходчивой форме ряд очень интересных суждений.

Четвертый раздел — «Космическая перспектива» — посвящен ряду волнующих человека научных проблем, что приводит скорее к ряду вопросительных знаков, чем к различным утверждениям: как рождаются галактики и звезды, планеты и спутники, какова история Луны, одинок ли человек во Вселенной и если нет, как узнать об этом?

В пятом разделе, «Естественная наука и история», Альвен повествует о своем предположении относительно того, каким может быть результат сегодняшнего беспрецедентного взрыва технологии. Речь идет об эксплуатации и колонизации пространства. Уж не говоря о Луне, у которой полностью отсутствует атмосфера, и Венеры, и Марс, по-видимому, не подходят для поддержания жизни сегодня. Но когда жизнь только что возникла на Земле, последняя также была «необитаема». Ее атмосфера, по-видимому, напоминала атмосферу Венеры. Наши предшественники — микроорганизмы преобразовали Землю.

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть, что книга профессора Альвена увлекательна, доходчива и проникнута научным подходом, хотя с отдельными его идеями читатели могут и не согласиться.

Академик Б. ПОНТЕКОРВО.

Приход наш и уход загадочны, —
их цели
Все мудрецы земли осмыслить
не сумели.
Где круга этого начало, где конец,
Откуда мы пришли, куда уйдём
отселе.

Омар ХАЙЯМ

Как работает естественная наука

Велико внутреннее побуждение человека установить связь между собой и окружающим миром. Он не только интересуется, как устроен мир, как он был создан и что станет с ним, но, что ещё более важно, каково место самого человека в сложном мироздании. На протяжении всей своей истории человек пытается дать ответ на эти вопросы. Первые и наиболее примитивные представления человека об окружающем его мире основывались на случайных наблюдениях своего непосредственного окружения и более или менее произвольно сводились к часто тщательно разработанным фантастическим теориям. Систематическое накопление и обработка наблюдений, т. е. то, что обычно принято называть естественной наукой, подвело базу под наши теории и размышления о мире, которые совершенно непохожи на взгляды человека, жившего несколько тысяч лет назад. В предлагаемой книге мы и коснемся наиболее важных результатов, достигнутых естественной наукой за долгий период истории человечества.

Но прежде всего мы рассмотрим методы, используемые естественной наукой, а также цели, которые она ставит перед собой.

Великая промышленная революция, охватившая западные страны в девятнадцатом веке, во многом явилась результатом достижений естественных наук. Наука об электричестве дала нам электрический свет, электрические моторы, телефон, радио и телевидение; химия предложила огромное разнообразие новых материалов; биология разработала новые методы лечения и вывела улучшенные сорта зерновых. Но те же плоды науки используются также для изобретения все более ужасающих средств разрушения. Все это привело многих к убеждению, что целью науки является главным образом технический прогресс — что задача науки должна заключаться в создании наиболее совершенных телевизоров, более прочных нейлоновых чулок и более эффективных атомных бомб.

Такое представление о науке целиком ошибочно. Цель естественной науки, во-первых и главным образом, удовлетворить любознательность человека путем выяснения, как в самом деле выглядит окружающий нас мир, и внесения порядка в хаос наших знаний и наблюдений. То, что мы познаем о природе, дает нам возможность покорять ее и ставить на службу наших интересов, однако не это является основной целью науки. Например, предпосылками, обусловившими изобретение радио, явились: знание законов электромагнетизма, открытие радиоволн, а также понимание того,

как используются свойства электронов в транзисторе. Однако ни Максвелл, сформулировавший законы электромагнетизма, ни Герц, открывший радиоволны, ни Томсон, открывший электрон, не думали о том, к каким практическим возможностям приведут их научные открытия. А вот другой пример: основные успехи ядерной физики падают на годы между первой и второй мировыми войнами. И хотя именно эти успехи заложили научный фундамент, необходимый для создания атомной бомбы, никто из ученых-атомников не помышлял, во что это может вылиться.

Превращение науки в технику явилось результатом изобретательства и в большой степени ее систематической производной, называемой нами прикладным исследованием. Вопреки признанному практическому значению прикладного исследования мы тем не менее посвятим дальнейшее свое повествование исключительно «непрактической» стороне науки.

Огромный объем научной работы сделал радикальную специализацию совершенно необходимой. Химик, астроном или ботаник не располагают глубокими знаниями в области деятельности друг друга. Однако специализации в некоторой степени противостоит растущий интерес к многообещающим областям знаний, лежащим на стыках различных наук и получившим в последнее время большое развитие. Так, астрономия и физика породили астрофизику: с тех пор как физики открыли взаимосвязь, существующую между спектром, генерированным источником света и свойствами этого источника, астрономы получили возможность сделать очень важные выводы о составе звезд путем анализа спектров излучаемого ими света. Аналогичным образом физика в содружестве с химией создала новую науку — физическую химию, а применение химии в решении биологических проблем положило начало исключительно плодотворным исследованиям, которыми занимается биохимия.

Но даже в пределах каждой научной дисциплины специализация возникла в результате необходимости применения многих различных методов при исследовании одного и того же объекта. Эта специализация определила три различных типа ученых.

К первой группе относятся собиратели образцов и систематизаторы. Они исследуют и каталогизируют цветы, птиц, насекомых или горные породы; анализируют и синтезируют известные и неизвестные химические вещества; считают звезды и классифицируют их или производят точные измерения линий спектра и рассчитывают энергетический уровень атомов. Именно эта группа исследователей несет ответственность за традиционный образ ученого: они невероятно усердны, точны, целиком поглощены своей работой, а потому и исключительно сосредоточены на своем внутреннем мире. Именно эта группа ученых создает прочный базис для всех наук.

Вторая группа ученых могла бы быть охарактеризована как инженеры от науки. Их задача — изобретать и создавать все более сложные приборы, необходимые для науки. Это люди, находящиеся целиком во власти технических характеристик: для них научный прогресс измеряется максимальным давлением или наивысшей температурой, которую можно достичь разрешающей способностью новейшего гигантского телескопа или же энергией частицы, полученной в новейшем ускорителе. Это они расширяют горизонты науки, делая возможным изучение еще более отдаленных звездных систем или частиц с еще более коротким временем жизни. Они за-

пускают спутники и конструируют космические корабли. Этот тип ученого из всех трех стал самым знаменательным в глазах широкой публики. Их выдвигению на передний план, естественно, способствует тот факт, что многих гораздо легче впечатлить самым большим и величественным в мире телескопом, блещущим в своем великолепии, чем характеристиками незначительных звезд, для изучения которых этот телескоп был создан.

Третью группу составляют теоретики. Их обязанность обрабатывать результаты, полученные двумя первыми группами, выражая их в возможно более ясной и точной форме — другими словами, создавать теорию. Для них цель науки — просуммировать возможно большее количество опытного материала, продемонстрировать, что даже самые несопоставимые случаи могут по своему существу быть подобными, просто на первый взгляд разными аспектами одного основного явления. И хотя имена великих теоретиков хорошо известны, не каждый представляет себе, каким образом они работают. Часть их работы напоминает работу художника: и художник, и ученый отделяет существенное от хаоса чувственных впечатлений и представляет его в возможно более концентрированной и элегантной форме. Подобно тому как художник выражает свои мысли и чувства в красках, скульптор в глине, музыкант в звуках, так и профессионал от искусства науки использует формулы и законы, которые, подобно всему тому, что выражает обогащенный продукт мира, в котором мы живем, являют собой стелень красоты. Высочайшей похвалой, которую теоретик может заслужить, показывая вновь выведенную формулу, это восторженный возглас своего коллеги: «Очень красиво!» Фактически красота формулы отличается от красоты музыки не более чем красота музыки от красоты картины. Правда, восприятие науки как искусства — исключительно сложный процесс и доставляет удовольствие лишь спустя долгие годы учебы; но ведь правильное понимание атональной симфонии или картины художника-кубиста также требует определенной подготовки — необходимо сначала привить вкус для их правильного восприятия. Древние греки относили астрономию к изящным искусствам, ее музой была Урания. Другие естественные науки не попали в их число лишь только потому, что еще не существовали в то время, когда родились девять знаменитых дочерей Мнемозины.

Хотя, как это совершенно очевидно, невозможно в одном небольшом разделе описать столь разнообразный и многогранный вид деятельности, каким является наука, мы можем сказать, что научная работа происходит следующим образом: с началом исследования в какой-то определенной области — то ли в давно известной, то ли в новой, являющейся результатом ряда новейших открытий, — немедленно делается попытка предугадать, какие законы применимы в этой области исследования. Выдвигаются гипотезы, которые затем постепенно оформляются в теории, по меньшей мере частично разработанные. Теории эти предназначены для обобщения всех обнаруженных фактов и даже для предсказания результатов новых исследований. Если эти предсказания впоследствии подтверждаются, теория считается «подтвержденной», если же нет, она должна быть заменена другой. Не так уж редко две и более соседние области исследования могут покрываться одной общей теорией, и, следовательно, желательно обобщать теории так, чтобы они поды-

тоживали все результаты в пределах возможно более обширной области исследований.

Результаты опыта, составляющие теорию, должны быть сформулированы исключительно сжато, хотя зачастую и абстрактно. Поэтому наука нуждается в таком языке, который давал бы возможность получать концентрированные и логичные формулировки. Таким языком является математика. Математические формулы облегчают точное выражение теории, при помощи математических методов можно проанализировать содержание теории и предсказать ее следствия. Уже неоднократно высказывалось мнение, что человек не мог бы логически мыслить, не будь языка. Так это или нет, ясно одно — обычный язык во многом облегчает организованное мышление. Язык же математики еще лучший помощник в формулировании научной мысли. «Математический аппарат» — общепринятое название для системы формул и арифметических законов, представленных математиками в распоряжение естественной науки — необходим для приведения к единой форме сложных доказательств и выводов.

Все теории можно было бы сформулировать обычным языком, но тогда большинству из них не доставало бы остроты и элегантности, которые придает им математика. Порой могла бы понадобиться целая книга для выражения словами того, что содержится в формуле, занимающей всего лишь половину строки. Перевод математических формул на литературный язык гораздо труднее, чем перевод китайской поэзии, красота же определенных формул при этом всегда теряется.

Часто можно слышать утверждение, что та или иная теория «математически доказана». Такое выражение лишь вводит в заблуждение и эквивалентно утверждению, что существует математическое доказательство того факта, что трава зеленая. Ведь теория является кратким изложением наблюдений, и вопрос об ее обоснованности может быть решен лишь сравнением ее и вытекающих из нее следствий с наблюдениями. Математика неопенима в том смысле, что она дает возможность исследовать уверенно и четко все следствия, вытекающие из теории, все, что ею подразумевается, однако окончательные «доказательства» точности теории могут быть представлены только лишь наблюдениями.

В качестве примера того, как работает естественная наука, мы остановимся на некоторых фактах из истории физики. Хотя многие важные естественные законы были уже открыты средиземноморскими, индийскими и китайскими философами, тем не менее открытие Галилеем законов движения падающего предмета многими считается рождением современной физики. Пожалуй, еще большее значение, чем формулирование этих законов, имели введенные им новые принципы научного мышления. Самым важным для Галилея было выяснить, не почему камень падает, а как он падает, каковы законы, объясняющие прирост скорости, и как выразить взаимосвязь между высотой, с которой предмет падает, и продолжительностью его падения. Другими словами, он понимал, что не суть важно определить «первичную причину» явления, и ограничивался изучением самого явления. В результате такой дифференциации возникло и с тех пор существует разделение между метафизикой и физикой. Функции физики, стало быть, как и других естественных

наук, заключаются скорее в описании и координации явлений, чем в их «объяснении». Наука старается установить взаимосвязь между возможно большим числом самых различных явлений, показать, что все это фактически разные аспекты одного и того же; но это не совсем то же самое, что «понимание» этих явлений. Астрономия развивалась во многом сходно с механикой Галилея. После того как утвердился система Коперника, Кеплер смог сформулировать свои знаменитые законы движения планет, подытожив тем самым огромное число наблюдений над движением в небесном пространстве. В своем анализе Кеплер с глубоким доверием полагается на чрезвычайно точные (для того времени) измерения положений планет, произведенные Тихо Браге, что можно было бы сказать, что его законы являются синтезом всех измерений, сделанных Тихо Браге ясными ночами на протяжении многих лет.

Астрономия и наука о падающих телах, бывшие дотоле отдельными дисциплинами, были объединены Ньютоном, который показал, что законы падения Галилея и законы движения планет можно рассматривать как частные случаи гораздо более общих законов, применяемых к движению всех тел: к камню, брошенному с башни, к метеориту, летящему по направлению к Земле, к планетам, движущимся в небесах. Великий синтез Ньютона, обычно называемый в наше время классической механикой, был расширен и углублен на протяжении восемнадцатого века, впервые очерчивая пространную область, внутри которой все явления могут быть детально рассчитаны согласно единому основному закону. Применяя этот единый закон (который в математическом выражении занимает всего лишь полстроки), мы можем определить движение Луны и планет в космическом пространстве, место приземления запущенного снаряда, высоту и величину волн, идущих от теплохода; тон и звучность флейты или же максимальный груз, поднимаемый самолетом. Важным подтверждением классической механики является открытие того, что эти явно несопоставимые явления на самом деле являются просто разными аспектами одного и того же явления.

Наука об электричестве (электродинамика) также начиналась как две отдельные науки: электростатика, изучавшая явления, возникающие, когда кусок янтаря или стеклянная палочка становятся электрически заряженными в результате натирания; и магнитостатика, изучавшая магниты и магнитные поля. После того как Гальвани и Вольта показали, что электрический ток можно получить посредством химических элементов, а затем Эрстед установил, что полученный таким образом ток обладает магнитным эффектом, эти две науки слились в одну. Основоположителем электродинамики был Максвелл, чьи знаменитые уравнения целиком охватывали все известные в то время знания в этой обширной области. Но Максвелл этим не ограничился. Изучая следствия, вытекающие из его уравнений, он обнаружил, что, помимо всего прочего, они предсказывают волновое движение электромагнитной природы. Пытаясь подтвердить предсказания Максвелла, Герц в самом деле нашел такие волны (которые мы сейчас называем радиоволнами). После того как было продемонстрировано, что свет также является электромагнитным волновым движением, оптика (наука о свете) стала еще одной отраслью электродинамики. Изучая оптику, мы узнаем, что такие различные явления, как рефракция света в линзе или его отражение зеркалом и работа электро-

двигателя или телевизора, объясняются одним законом природы, сформулированным уравнениями Максвелла.

К концу девятнадцатого столетия классическая механика и электродинамика были в основном законченными главами. С приходом двадцатого века для физики начался хаотический период. Новые открытия сделали возможным изучение структуры атома, а вскоре выяснилось, что явления, происходящие в микромире атома, не подчиняются законам, применимым к явлениям, изучавшимся до того времени. Движение электронов по круговым орбитам вокруг сравнительно небольшого, но тяжелого ядра не согласовывалось с законами классической механики. Ответы на наши вопросы об электронах дала квантовая механика (или волновая механика), получившая свое развитие в двадцатые годы нашего века. В результате сейчас мы располагаем исчерпывающей информацией об строении атома за пределами ядра.

Квантовую механику можно рассматривать как обобщение классической механики или, наоборот, классическая механика может считаться частным случаем квантовой механики. Как только мы начинаем исследовать такие исключительно «малые» явления, как, например, строение атома, мы должны использовать квантовую механику; однако при расчетах движения крупных тел квантовая механика всегда дает такие же результаты, как и классическая механика.

Итак, вот каким образом работает ученый. В первую очередь он ищет законы, применимые для определенной области науки. Найдя эти законы, он старается распространить их на новые области. В некоторых случаях они могут быть применимы без всяких поправок, как это случилось при использовании электромагнитных законов Максвелла для объяснения световых явлений. В других случаях законы должны быть выведены в более общей форме, применяемой для обеих наук, «объединяющихся» в одну, как это было с законами механики при ее объединении с атомной физикой. Можно утверждать, что конечной целью естественной науки является открытие единого общего закона (или формулы), который бы объяснил все опыты и наблюдения. Мы не знаем, как долго нам придется проработать, прежде чем эта цель будет достигнута, ясно одно — очень долго. Но мы уже покрыли порядочную часть пути — свидетельством тому служат определенные довольно обширные и важные области науки, как, например, наука об электричестве, которая все известные явления подытожила в единый закон.

Длинная цепь усложнений

Три фронта естественной науки

Если нам предстоит исследовать что-либо столь обширное и разнообразное, как современная естественная наука, мы должны обобщать, а в процессе обобщения мы рискуем сказать лишь долю истины. Памя-

туя это, мы можем констатировать, что в настоящее время изучение естественной науки сконцентрировано на трех главных фронтах. Мы могли бы дать такую классификацию: (1) изучение очень *большого*, (2) изучение очень *малого* и (3) изучение очень *сложного* — вот три главных фронта, на которых человек наносит удары по своему незнанию.

Изучением *очень большого* занимается астрономия. При помощи все более и более сложных приборов астрономы наблюдают все более отдаленные объекты и пытаются посредством все более утонченных теоретических методов составить представление о том, как выглядит населяемый нами мир в макрокосмосе. Астроном сосредоточивает свое внимание не только на огромных расстояниях в миллионы и миллиарды световых лет, но также и на продолжительных отрезках времени. Как развивалась и развивается Вселенная на протяжении миллионов и миллиардов лет? Что ожидает нас в ближайшее время? Можем ли мы предсказать, что случится в один прекрасный момент в далеком будущем? И, самое главное, каково наше собственное положение во Вселенной? Мы знаем, что с астрономической точки зрения мы очень и очень малы; а есть ли у нас друзья в бескрайних просторах Вселенной, столь же смелые в своих попытках проанализировать астрономическую бесконечность? Если их нет, то мы уникальны. *Очень малое* представляет собой мир атомов. Мы сами и все вокруг нас состоит из атомов; и для нас представляет перво-степенный интерес понять эти строительные кирпичики, из которых мы сложены. Но они не так просты, как это казалось раньше: вместо каждой тайны, разгаданной атомной физикой, появляются все новые, более глубокие тайны.

Астрономия и атомная физика, таким образом, являются сложными науками, исследующими основные законы, согласно которым развивается Вселенная и мы сами. Но нет сомнения, что область *очень сложного* принадлежит биологии. Это верно, что мы состоим из атомов; но если бы мы даже до конца поняли свойства этих атомных компонентов, мы бы поняли очень мало о себе. Нашей взаимосвязью с миром атомов является то, что мы в дальнейшем будем называть длинной цепью усложнений.

Элементарные частицы

Слово «атом» означает «неделимый». Оно было введено греческими философами для обозначения мельчайших частиц, из которых, согласно их представлению, состоит материя. Физики и химики девятнадцатого века приняли этот термин для обозначения самых мелких известных им частиц. Хотя мы уже давно в состоянии «расщепить» атомы и неделимое перестало быть неделимым, тем не менее термин этот сохранился. Согласно нынешнему нашему представлению, атом состоит из мельчайших частиц, называемых нами *элементарными частицами*. Существуют также и другие элементарные частицы, не являющиеся фактически составной частью атомов. Обычно их получают при помощи мощных циклотронов, синхротронов и других ускорителей частиц, специально сконструированных для изучения этих частиц. Они также возникают при прохождении космических лучей через атмосферу. Эти элементарные частицы распадаются спустя несколько миллионных долей секунды, а часто за еще более короткий промежуток времени после своего появления. В результате распада они либо видоизменяются, превращаясь в другие элементарные частицы, либо выделяют энергию в форме излучения.

Изучение элементарных частиц сосредоточивается на все возрастающем числе недолго живущих элементарных частицах. Хотя эта проблема имеет огромное значение, в частности, потому, что связана с самыми фундаментальными законами физики, тем не менее исследование частиц в настоящее время проводится почти в отрыве от других отраслей физики. По этой причине мы ограничимся рассмотрением лишь тех частиц, которые являются постоянными компонентами наиболее распространенных материалов, а также некоторых частиц, очень близко к ним примыкающих. Первой из элементарных частиц, открытых в конце девятнадцатого века, был электрон, ставший затем исключительно полезным слугой. В радиолампах поток электронов движется в вакууме; и именно посредством регулировки этого потока усиливаются входящие радиосигналы и превращаются в звук или шум. В телевизоре электронный луч служит в качестве пера, которое мгновенно и точно копирует на экране приемника то, что видит ка-

мера передатчика. В обоих этих случаях электроны движутся в вакууме так, чтобы по возможности ничто не мешало их движению. Еще одним полезным свойством является их способность, проходя через газ, заставлять его светиться. Таким образом, давая возможность электронам проходить через стеклянную трубку, наполненную газом под определенным давлением, мы используем это явление для получения неоновых светов, применяемого ночью для освещения крупных городов. А вот еще одна встреча с электронами: блеснула молния, и мириады электронов, пробиваясь через толщу воздуха, создают раскатистый звук грома.

Однако в земных условиях имеется сравнительно небольшое число электронов, могущих свободно двигаться, как это мы видели в предыдущих примерах. Большинство из них надежно связаны в атомах. Поскольку ядро атома заряжено положительно, оно притягивает к себе отрицательно заряженные электроны, заставляя их удерживаться на орбитах, находящихся сравнительно близко от ядра. Атом обычно состоит из ядра и некоторого числа электронов. Если электрон покидает атом, его, как правило, немедленно замещает другой электрон, который атомное ядро с большой силой притягивает к себе из своего ближайшего окружения.

Как же выглядит этот замечательный электрон? Никто его не видел и никогда не увидит; и тем не менее мы знаем его свойства настолько хорошо, что можем предсказать со всеми подробностями, как он будет вести себя в самых различных ситуациях. Мы знаем его массу (его «вес») и его электрический заряд. Мы знаем, что чаще всего он ведет себя так, как будто бы перед нами очень мелкая *частица*, в других же случаях он обнаруживает свойства *волны*. Исключительно абстрактная, но в то же самое время очень точная теория электрона была предложена в законченном виде несколько десятилетий тому назад английским физиком Дираком. Эта теория дает нам возможность определить, при каких обстоятельствах электрон будет больше сходен с частицей, а при каких будет преобладать его волновой характер. Такая двойственная природа — частица и волна — затрудняет возможность дать четкую картину электрона; следовательно, теория, учиты-

вающая обе эти концепции и тем не менее дающая законченное описание электрона, должна быть очень абстрактной. Но было бы неразумным ограничивать описание такого замечательного явления, как электрон, столь земными образами, как горошины и волны.

Одна из посылок теории Дирака об электроне заключалась в том, что должна существовать элементарная частица, обладающая такими же свойствами, как электрон, за исключением лишь того, что заряжена она положительно, а не отрицательно. И действительно, такой двойник электрона был обнаружен и назван *позитроном*. Он входит в состав космических лучей, а также возникает в результате распада некоторых радиоактивных веществ. В земных условиях жизнь позитрона коротка. Как только он оказывается по соседству с электроном, а случается это во всех веществах, электрон и позитрон «истребляют» друг друга; положительный электрический заряд позитрона нейтрализует отрицательный заряд электрона. Поскольку согласно теории относительности масса является формой энергии и поскольку энергия «неразрушима», энергия, представленная объединенными массами электрона и позитрона, должна быть каким-то образом сохранена. Эту задачу выполняет фотон (квант света), или обычно два фотона, которые излучаются в результате этого рокового столкновения; их энергия равна суммарной энергии электрона и позитрона.

Мы знаем также, что происходит и обратный процесс. Фотон может при определенных условиях, например, пролетая поблизости от ядра атома, сотворить «из ничего» электрон и позитрон. Для такого сотворения он должен обладать энергией, по меньшей мере равной энергии, соответствующей суммарной массе электрона и позитрона.

Стало быть, элементарные частицы не являются вечными или постоянными. И электроны и позитроны могут появляться и исчезать; однако энергия и результирующие электрические заряды сохраняются.

Исключая электрон, элементарной частицей, известной нам гораздо раньше любой другой частицы, является не позитрон, встречающийся сравнительно редко, а *протон* — ядро атома водорода. Как и позитрон, заряжен он положительно, но масса его примерно в две

тысячи раз превосходит массу позитрона или электрона. Подобно этим частицам, протон иногда проявляет волновые свойства, однако лишь в исключительно особых условиях. То, что его волновая природа менее ярко выражена, фактически является прямым следствием обладания им гораздо большей массой. Волновая природа, характерная для всей материи, не приобретает для нас важного значения до тех пор, пока мы не начинаем работать с исключительно легкими частицами, такими, как электроны.

Протон — очень распространенная частица. Атом водорода состоит из протона, являющегося его ядром, и электрона, вращающегося вокруг него по орбите. Протон входит также в состав всех других атомных ядер.

Физики-теоретики предсказывали, что у протона, подобно электрону, имеется античастица. Открытие *отрицательного протона* или *антипротона*, обладающего теми же самыми свойствами, что и протон, но заряженного отрицательно, подтвердило это предсказание. Столкновение антипротона с протоном «истребляет» их обоих так же, как и в случае столкновения электрона и позитрона.

Другая элементарная частица, *нейтрон*, обладает почти такой же массой, как и протон, но электрически нейтральна (без электрического заряда вообще). Ее открытие в тридцатых годах нашего века — примерно одновременно с открытием позитрона — явилось исключительно важным для ядерной физики. Нейтрон входит в состав всех атомных ядер (за исключением, разумеется, обычного ядра атома водорода, который является просто свободным протоном); разрушаясь, атомное ядро выделяет один (или более) нейтрон. Взрыв атомной бомбы происходит благодаря нейтронам, высвобождающимся из ядер урана или плутония.

Поскольку протоны и нейтроны вместе образуют атомные ядра, и те и другие называются нуклонами, спустя некоторое время свободный нейтрон превращается в протон и электрон.

Нам знакома еще одна частица, называемая *антинейтроном*, которая, подобно нейтрону, электрически нейтральна. Она обладает многими свойствами нейтрона, однако одно из коренных отличий заключается в

гом, что антинейтрон распадается на антипротон и электрон. Сталкиваясь, нейтрон и антинейтрон уничтожают друг друга.

Фотон, или световой квант, исключительно интересная элементарная частица. Желая почитать книгу, мы включаем электрическую лампочку. Так вот, включенная лампочка генерирует огромное количество фотонов, которые устремляются к книге, так же как и во все другие уголки комнаты, со скоростью света. Некоторые из них, ударяясь о стены, тут же погибают, другие вновь и вновь ударяются и отскакивают от стен или других предметов, однако спустя менее чем одну миллионную долю секунды с момента появления все они погибают, за исключением лишь немногих, которым удается вырваться через окно и ускользнуть в пространство. Энергия, необходимая для генерирования фотонов, поставляется электронами, протекающими через включенную лампочку; погибая, фотоны отдают эту энергию книге или другому предмету, нагревая его, или глазу, вызывая стимуляцию зрительных нервов.

Энергия фотона, а следовательно, и его масса не остаются неизменными: существуют очень легкие фотоны наряду с очень тяжелыми. Фотоны, дающие обычный свет, очень легки, их масса составляет всего лишь несколько миллионных долей массы электрона. Другие фотоны обладают массой примерно такой же, как масса электрона, и даже гораздо большей. Примерами тяжелых фотонов являются рентгеновские и гамма-лучи.

Вот общее правило: чем легче элементарная частица, тем выразительнее ее волновая природа. Самые тяжелые элементарные частицы — протоны — выявляют сравнительно слабые волновые характеристики; несколько сильнее они у электронов; самые сильные — у фотонов. В самом деле, волновая природа света была открыта намного раньше, чем его корпускулярные характеристики. Мы знали, что свет есть не что иное, как движение электромагнитных волн, с тех пор как Максвелл продемонстрировал это на протяжении второй половины прошлого века, но именно Планк и Эйнштейн на заре двадцатого века открыли, что свет имеет и корпускулярные характеристики, что он иногда излучается в виде отдельных «квантов», или, другими словами, в виде потока фотонов. Не приходится отрицать, что трудно

объединить и слить воедино в нашем сознании эти две явно несхожие концепции природы света; но мы можем сказать, что подобно «двойственной природе» электрона наше представление о таком неуловимом явлении, каковым является свет, должно быть очень абстрактным. И только когда мы хотим выразить наше представление в грубых образах, мы должны иногда уподоблять свет потоку частиц, фотонов, или же волновому движению электромагнитной природы.

Существует зависимость между корпускулярной природой явления и его «волновыми» свойствами. Чем тяжелее частица, тем короче соответствующая ей длина волны; чем длиннее длина волны, тем легче соответствующая частица. Рентгеновские лучи, состоящие из очень тяжелых фотонов, имеют соответственно очень короткую длину волны. Красный свет, характеризующийся большей длиной волны по сравнению с синим светом, состоит из фотонов более легких по сравнению с фотонами, несущими синий свет. Самые длинные электромагнитные волны из всех существующих — радиоволны — состоят из мельчайших фотонов. Эти волны ни малейшим образом не проявляют свойств частиц, их волновая природа является целиком преобладающей характеристикой.

И наконец, самой мелкой из всех малых элементарных частиц является *нейтрино*. Оно лишено электрического заряда, и если у него и есть какая-либо масса; то она близка к нулю. С некоторым преувеличением мы можем сказать, что нейтрино просто лишено свойств.

Наше познание элементарных частиц является современной границей физики. Атом был открыт в девятнадцатом веке, и ученые того времени обнаружили все возрастающее число различных видов атомов; подобным же образом сегодня мы находим все больше и больше элементарных частиц. И хотя было доказано, что атомы состоят из элементарных частиц, мы не можем ожидать, что по аналогии будет найдено, что элементарные частицы состоят из еще более мелких частиц. Проблема, стоящая перед нами сегодня, совсем иная, и нет ни малейших признаков, указывающих на то, что мы сможем расщепить элементарные частицы. Скорее следует надеяться на то, что будет доказано,

что все элементарные частицы являются проявлением одного еще более фундаментального явления. И если это оказалось бы возможным установить, мы бы сумели понять все свойства элементарных частиц; смогли бы подсчитать их массы и способы их взаимодействия. Было сделано много попыток подойти к разрешению этой проблемы, являющейся одной из самых важных проблем физики.

Протоны и нейтроны образуют атомные ядра Все материалы образованы из трех элементарных частиц: электронов, протонов и нейтронов. Но поскольку протоны и нейтроны легко переходят друг в друга, и те и другие называются нуклонами, мы могли бы с таким же успехом сказать, что материя состоит из строительных блоков: электронов и нуклонов. Материя строится из этих частиц в две стадии: сначала нуклоны организуются в атомные *ядра*, а уже затем эти атомные ядра соединяются с электронами, образуя *атомы*.

Атомное ядро состоит из определенного числа объединившихся нуклонов. Число это варьирует от одного до двухсот и более. Простейшим атомным ядром является ядро атома водорода, состоящее из одного свободного протона; самым сложным из нормальных атомных ядер является ядро атома урана, содержащее 238 нуклонов. Всем числам, лежащим в диапазоне от 1 до 238, также соответствуют различные атомные ядра.

Пытаясь объяснить, как некоторое число нуклонов может удерживаться вместе, создавая атомное ядро, мы должны предположить, что, когда нуклоны оказываются очень близко друг от друга, между ними возникает очень сильное притяжение. Характер этого притяжения отличен от электрического притяжения, которое, например, имеет место между положительно заряженным протоном и отрицательно заряженным электроном. Сила притяжения между нуклонами называется ядерной силой, и мы признаем, что более глубокое исследование ее свойств является, пожалуй, единственной наиважнейшей задачей, стоящей перед ядерной физикой.

Для наглядного представления устройства атомного ядра представим себе нуклоны в виде небольших шариков, притягивающихся друг к другу при тесном сближе-

нии; иначе говоря, ядерные силы удерживают их вместе в форме маленького, почти круглого комочка — атомного ядра.

Масса атомного ядра приблизительно равна суммарной массе образующих его нуклонов. Например, про ядро атома железа, содержащее 56 нуклонов, говорят, что его «атомный вес» равен 56, а его масса примерно в 56 раз больше массы одного нуклона. Фактически его общая масса несколько меньше, чем 56 масс нуклонов, поскольку при объединении этих частиц в ядро определенное количество энергии, так называемая энергия связи, высвобождается и уходит, а поскольку вся энергия имеет массу, некоторая часть массы теряется в результате объединения нуклонов в ядро. Во всех ядрах, однако, количество потерянной массы составляет менее одного процента от общей массы.

За исключением атомного веса, самой важной характеристикой ядра является его электрический заряд, определяющий химические и большинство физических свойств атома. Заряд атомных ядер колеблется от 1 до примерно 100. Среди всех веществ, встречающихся в естественном состоянии, наибольшим электрическим зарядом обладает ядро урана. Его зарядовое число («атомный номер») — 92. Искусственным путем получены ядра с еще более высокими атомными номерами, как, например, плутоний. Наиболее часто встречающиеся ядра урана имеют атомный вес 238, т. е. состоят из 238 нуклонов. Поскольку протоны имеют электрический заряд, а нейтроны лишены его, мы можем утверждать, что из числа нуклонов, составляющих ядро урана, 92 являются протонами, остальные нейтронами ($238 - 92 = 146$).

Атомные ядра двух атомов, имеющие одинаковый заряд, но разные массы, называются *изотопами*. Одно из ядер, например, имеет заряд 92 и массу 235; этот атом, таким образом, является изотопом урана-238. Поскольку именно заряд определяет химические свойства атома, составной частью которого является ядро, оба атома, имеющие эти изотопные ядра, обладают, по существу, одинаковыми химическими свойствами и оба они являются атомами урана (изотоп урана-235 используется для производства атомных бомб).

Многие ядерные реакции сопровождаются выделени-

ем огромного количества энергии. В результате радиоактивного распада вещества выделяется большое количество энергии, но поскольку все радиоактивные вещества, имеющиеся у нас в больших количествах, распадаются медленно, высвобождение ее длится так долго, что не вызывает особой тревоги. И лишь только после того как нам удалось расщепить ядра урана и плутония, мы смогли добиться столь быстрого и интенсивного высвобождения энергии, необходимого для взрыва атомной бомбы. Другая и несравненно более важная атомная реакция происходит внутри Солнца и других звезд, снабжая их энергией, которую они затем посылают в пространство. Реакция эта гораздо более сложная, но результат ее таков: четыре протона объединяются в ядро гелия и испускают два позитрона. Таким образом, водород Солнца постепенно «сгорает» в гелий. Не будь такого «костра», температура Земли упала бы вскоре до «абсолютного нуля» (273°C ниже нуля). Человек еще не в состоянии производить в больших масштабах подобную атомную реакцию, которая гораздо более эффективна, чем расщепление урана для высвобождения энергии, но вполне вероятно, что вскоре нам удастся успешно использовать ее или какой-либо подобный процесс (термоядерную энергию).

Атомные ядра, которые вместе с электронами образуют мир, в котором мы живем, образовались, вероятно, несколько миллиардов лет тому назад в результате объединения свободных протонов и нейтронов. Вполне вероятно, что процесс этот и сейчас происходит внутри звезд.

В настоящее время грандиозные ядерные реакции происходят внутри Солнца и звезд. Температура у центра Солнца составляет примерно 20 миллионов градусов, и она как раз достаточна для «воспламенения» водорода, в результате чего он сгорает, превращаясь в гелий. Продуктом этих реакций является большое количество нейтронов, которые, присоединяясь к протонам, образуют более тяжелые элементы. В некоторых очень горячих звездах ядерные процессы очень эффективны; во вспыхивающих звездах, «новых» или «сверхновых», в частности, можно ожидать образования более тяжелых элементов в значительных количествах. Таким образом, возможно, что элементы образуются в недрах

звезд, а затем выбрасываются в окружающее их пространство.

Таковы некоторые животрепещущие аспекты ядерной физики; но наряду с ними существуют и другие проблемы, правда, менее сенсационные, однако не менее важные, представляющие не меньший интерес.

Ядра и электроны образуют атомы

Поскольку положительные и отрицательные заряды взаимно притягиваются, атомные ядра, которые всегда заряжены положительно, будут притягивать отрицательно заряженные электроны. Притянутый к ядру электрон не становится его частью, а вращается вокруг него по орбите на некотором удалении. Объясняется это тем, что электрон ведет себя скорее как волна, а не как частица. Так, водородное ядро, обладающее единственным положительным зарядом, захватывая подобным образом электрон, образует атом водорода. Внешне этот атом электрически нейтрален, так как отрицательный заряд электрона нейтрализует положительный заряд ядра. Ядро гелия, имеющее двойной заряд, должно притянуть два электрона для создания нейтрального атома, для ядра железа, имеющего атомный заряд 26, требуется 26 электронов, и, наконец, ядро урана (атомный заряд 92) обычно окружает себя 92 электронами¹.

Теория, выдвинутая Нильсом Бором в 1913 году, включала в себя первое представление о строении атома. Согласно этой теории электроны движутся по круговым или эллиптическим орбитам вокруг ядра, некоторым образом подобно тому, как планеты вращаются вокруг Солнца. Однако существует большое различие между движением планет и движением электронов. Планета может двигаться на любом расстоянии от Солнца. Так, если бы скорость вращения Земли вокруг Солнца уменьшилась, Земля продвинулась бы на опре-

¹ В принципе, атомное ядро может быть образовано из антипротонов и антинейтронов. Также отрицательно заряженное ядро может быть окружено позитронами, а такой «антиатом» будет обладать точно такими же свойствами, что и обычная материя. Входя в контакт друг с другом, материя и антиматерия взаимно уничтожаются, высвобождая при этом огромное количество энергии. Согласно некоторым теориям часть Вселенной состоит из антиматерии.

деленное расстояние по направлению к Солнцу и стала бы вращаться по новой орбите, удаленной от Солнца на расстояние, зависящее целиком от степени замедления. Замедляя или ускоряя движение Земли вокруг Солнца, можно заставить ее двигаться по любому эллипсу (соблюдая лишь единственное условие: фокус такой эллиптической орбиты должен приходиться на Солнце). Электроны же в атоме лишены столь неограниченной свободы выбора своей орбиты по причине того, что они ведут себя как волны, а последние должны укладываться в определенные волновые спектры.

Как уже упоминалось выше, свечение неоновой трубки обусловливается прохождением электрического тока через инертный газ неон, содержащийся в трубке. Ядро неона имеет атомный заряд 10 и, следовательно, обычно окружено десятью электронами. Если электрический ток проходит через газ, то это означает, что электроны принуждены двигаться через него и сталкиваются с атомами газа. При достаточно энергичном столкновении атом неона в результате может лишиться одного электрона и превратиться в положительно заряженный ион. Таким образом, ион неона состоял бы из атома неона и девяти электронов. Освободившийся электрон помогает проводить электрический ток через газ, но в конце концов его может захватить другой ион неона. Почему же ионы заряжены положительно? Да потому, что девять заключенных в них электронов не в состоянии нейтрализовать десять положительных единиц заряда ядра, вот почему электрическое поле иона притягивает соседние электроны.

К такой ионизации атома приводят лишь достаточно энергичные столкновения. Чаще всего в результате столкновения один из электронов, входящих в состав атома неона, отбрасывается со своей нормальной орбиты на новую орбиту, более удаленную от ядра. Такое явление называется *возбуждением* атома. Атом продолжает оставаться электрически нейтральным и имеет, в случае неона, 10 электронов; хотя один из них стал обладателем необычно большого запаса энергии в связи с увеличением его расстояния от ядра. Но уже через очень короткий промежуток времени этот электрон возвращается на свою нормальную орбиту, выделяя при этом излишнюю энергию в виде фотона. Фотон обра-

зается всякий раз, когда электрон «перепрыгивает» с одной орбиты на другую. Свет, посылаемый газом при прохождении через него электрического тока, состоит из фотонов, выделяемых возбужденными атомами при возвращении их в нормальное состояние. Энергия фотонов, а стало быть, и энергия излучаемого света определяется разницей между энергетическими уровнями двух орбит. Если эта разница очень мала, мы имеем красный свет, характеризуемый длинными волнами, несколько большая разница дает желтый и зеленый свет более короткой волны, а еще большая разница — синий или фиолетовый свет еще более короткой волны. Посредством точного измерения длины волны излучаемого света мы можем собрать очень ценную информацию о различных энергетических состояниях, в которых может находиться атом. Ясный красный свет неоновой лампы помогает нам сделать правильный выбор при покупке зубной пасты, физику же он повествует об атомной структуре неона.

Различные орбиты, на которые может перейти электрон при возбуждении атома, таким образом, характеризуются различными энергетическими состояниями. Свет, излучаемый при каждом переходе с одной орбиты на другую, называется *спектральной линией*; каждая такая линия имеет специфический цвет. Сложные по строению атомы могут излучать тысячи, а иногда и десятки тысяч различных спектральных линий и, естественно, как и все сложное, трудно поддаются анализу. Чтобы понять устройство атома, необходимо начать с анализа простейшего атома, а именно с атома водорода, вокруг ядра которого вращается всего лишь один электрон. Обычно этот электрон вращается по круговой орбите в непосредственной близости от ядра — диаметр орбиты составляет одну десятимиллионную миллиметра. Анализируя спектр, излучаемый газом водорода при пропускании через него электрического тока, мы можем рассчитать орбиты, по которым движется электрон при возбужденном состоянии атома. В результате такого анализа удалось установить, что расстояние от орбиты до ядра может быть в 4, 9, 16 или 25 раз больше нормального расстояния между ядром и орбитой; но оно не может превышать это расстояние в 5, 8 или 13 раз.

Поначалу трудно было понять, почему электрон мо-

жет вращаться лишь по определенным орбитам, а не вообще на любом расстоянии от ядра — наподобие планеты, вращающейся вокруг Солнца. Разгадать эту загадку удалось с открытием волновой природы электрона. Рассматривая элементарные частицы, мы уже отмечали, что электрон иногда напоминает частицу, но наряду с этим он обладает и другими свойствами, которые заставляют его вести себя подобно волне. Опираясь исключительно малыми размерами, подобно размерам атомов, мы убеждаемся, что волновые свойства столь же ярко выражены, как и корпускулярные, а потому и не совсем точным будет утверждение, что электрон движется по определенной орбите. Электрон, движущийся вокруг атомного ядра, скорее можно представить себе как электрический заряд, который пульсирует, колеблется, вращаясь вокруг ядра. Вот почему задача по расчету движения электрона в атоме не чужда акустическим проблемам: как колеблется струна, или, как звуки, тонá можно извлечь из свистка.

Открытие волновой природы электрона послужило толчком к усовершенствованию классической механики Ньютона, в результате чего возникла *квантовая механика*, или *волновая механика*. Квантовая механика сосредоточивает свое внимание на волновой природе электрона, в то время как классическая механика рассматривает электрон как частицу. При рассмотрении крупных тел, таких, как планеты или даже метеоры или снаряды, можно ограничиться их корпускулярной природой, поскольку, если тела достаточно крупны, их волновая природа совершенно незаметна. Но если мы изучаем мельчайшие частицы, наподобие электрона, и имеем дело с размерами порядка размеров атома, волновая природа проявляется настолько сильно, что мы должны пользоваться квантовой механикой.

С развитием этой новой отрасли науки стало возможным полное описание свойств атома водорода. Но, к сожалению, модель атома, предложенная квантовой механикой, настолько абстрактна, что просто невозможно получить его графическую картину, поскольку мало-заметные и необычные явления, происходящие внутри атома, не могут быть описаны посредством аналогов из повседневной жизни. Если мы намерены сделать попытку дать наглядное изображение атома, то мы должны

быть готовы столкнуться с тем фактом, что по меньшей мере в некотором отношении эта картина будет очень обманчивой. Желая подчеркнуть корпускулярную природу электрона, мы придем к атомной модели Бора, в которой электроны рассматриваются как частицы, движущиеся по некоторым определенным орбитам и могущие перепрыгивать с одной орбиты на другую, испуская при этом один фотон. С другой стороны, мы можем выделить волновую природу электрона и рассматривать различные состояния атома как основной тон и обертоны колебаний электрона.

Атомы строят молекулы и кристаллы

Квантовомеханическая теория атома справедливо считается одним из величайших триумфов физики. Дав такое точное описание свойств атома, эта теория подвела прочный фундамент, если не подо всю естественную науку, то во всяком случае под большую ее часть, поскольку материя состоит из атомов. Зная свойства атомов, мы в состоянии рассчитать, каким образом они соединяются вместе и какие законы здесь действуют. При помощи квантовой механики мы можем определить не только свойства атомов, но и свойства всех веществ, образуемых ими: мы можем понять, почему золото обладает желтым цветом, а сталь тверда; почему водород и кислород, соединяясь, дают воду; и что происходит, когда вода замерзает, образуя лед, или кипит, превращаясь в пар. Задача сводится к детальному расчету, как силы, заложенные во многих атомах, взаимодействуют часто весьма замысловатым и непонятным образом. Другое дело, если мы знаем основные законы их соединения, — тогда мы располагаем секретом их поведения.

Тот факт, что некоторые проблемы ядерной физики и физики элементарных частиц все еще не разрешены, не так уж важен для естественной науки в целом. Ядерная физика довольно четко отделена от других отраслей физики. Строение атома определяется почти исключительно зарядом ядра и до некоторой степени его массой. Внутреннее строение ядра, которое, пожалуй, еще не до конца ясно, имеет отношение лишь к некоторым экстраординарным явлениям, таким, как распад радиоактивных элементов и взрыв атомной бомбы. При рассмотрении всех более «нормальных» явлений можно

ограничиться изучением свойств атомной оболочки. Вот тут-то квантовая механика незаменима!

Мы видели, что атомное ядро обычно окружено электронами, число которых равно заряду ядра. Это число электронов необходимо для нейтрализации заряда ядра. Если же так или иначе атом теряет один электрон, оставшихся электронов недостаточно для полной нейтрализации положительного заряда ядра. Действие этого положительного заряда распространяется за пределы самого атома, и как только какой-либо электрон оказывается поблизости от такого атома, он притягивается к нему, восполняя утерянный электрон.

Но и в этом случае, когда ядро окружено нужным числом электронов, определенные силы, исходящие из атома, оказывают воздействие на свое окружение. Их интенсивность определяется эффективностью, с которой электроны экранируют поле ядра, и симметричностью их расположения вокруг ядра. В атоме электроны имеют тенденцию образовывать «оболочки». Каждая оболочка содержит определенное число электронов, и если она занята полностью, действие сил, простирающееся за пределы электронной оболочки, очень мало. Ближайшая к ядру оболочка, так называемая *K*-оболочка, состоит из двух электронов, вращающихся в непосредственной близости от ядра. Если в атоме более двух электронов, дополнительные электроны должны вращаться на большем удалении от ядра. *L*-оболочка рассчитана на восемь электронов, но если число электронов в атоме больше десяти, остальные должны вращаться по орбитам, еще более удаленным от ядра и образующим *M*-оболочку.

Если число электронов, содержащихся в атоме определенного вещества, недостаточно для заполнения всей оболочки, расположение электронов становится асимметричным, в результате чего очень интенсивные силы проникают за пределы атома. Это те силы, которые удерживают вместе два или более атома, образующие молекулу. Химические свойства атома, т. е. его способность соединяться с другими атомами, образуя довольно сложную молекулу, зависят, таким образом, от структуры электронной оболочки. К этому же типу относятся и силы, удерживающие вместе атомы и образующие, таким образом, твердое тело.

Если внешняя оболочка атома «укомплектована» электронами полностью, или, другими словами, «закрыта», силовое поле за пределами атома в таком случае очень слабое. Таким образом, атомы, имеющие заряд ядра и, следовательно, эквивалентное число электронов — 2, 10, 18, например, характеризуются слабым силовым полем. Все эти вещества являются инертными газами: гелий — с двумя электронами на *K*-оболочке; неон — с двумя электронами на *K*-оболочке и восемью электронами на *L*-оболочке и аргон — с двумя электронами на *K*-оболочке, восемью на *L*-оболочке и восемью на *M*-оболочке. Силы, с которыми такой атом может действовать на другие атомы, настолько слабы, что химическое соединение просто невозможно. Таким образом, инертные газы обязаны своим названием тому факту, что они действительно «инертны», т. е. не в состоянии образовывать соединения. Их атомы предпочитают быть свободными и независимыми, или, другими словами, они образуют газ. Только при очень низких температурах инертные газы могут конденсироваться в жидкое или твердое состояние; однако силы, удерживающие атомы вместе, настолько слабы, что достаточно лишь малейшего подогревания, чтобы атомы вновь высвободились и вещество вновь перешло в газообразное состояние.

Вокруг атомов всех других веществ силовые поля настолько интенсивны, что атомы в состоянии соединяться с другими атомами и образовывать молекулы. Простейшим примером образования молекулы является соединение двух атомов водорода в молекулу водорода. Такая молекула состоит из двух атомных ядер (протонов) и двух электронов, которые, так сказать, удерживают их вместе. Два электрона образуют *K*-оболочку, делая силы, исходящие из молекулы водорода, очень слабыми. Так, при нормальной температуре водород является газом, поскольку силы между молекулами недостаточны для удерживания их в положениях, характерных для жидкого или твердого состояния.

Другое дело, если соединяются два атома углерода: силы, исходящие из них, остаются настолько энергичными, что оказываются достаточными для притяжения еще нескольких атомов. В результате довольно большое число атомов углерода может соединяться в группы. Та-

кие соединения могут быть беспорядочными или же они могут образовывать исключительно симметричную структуру — кристалл. Кристаллическая форма углерода называется алмазом. Атомы в кристалле расположены прямыми рядами, и это совершенное расположение сохраняется даже в таких крупных кристаллах, как в бриллианте Кох-и-Нур. Силы, действующие между соседними атомами, определяют твердость кристалла и внутреннюю силу сцепления. Металлы также образуют кристаллы, многие из которых микроскопически малы. Кусок металла состоит из очень большого числа маленьких кристаллов, спекшихся вместе.

Молекулы часто состоят из различных видов атомов. И натрий, и хлор — вещества, которые трудно получить в чистом виде, однако их химическое соединение — хлористый натрий (поваренная соль) — широко распространенное вещество. Атом натрия имеет 11 электронов: 2 на *K*-оболочке, 8 на *L*-оболочке, а одиннадцатый на *M*-оболочке. У атома хлора 17 электронов, таким образом, на *M*-оболочке занято 7 мест. Атом натрия «отпускает» от себя свой наиболее отдаленный электрон с тем, чтобы все оставшиеся электроны находились на целиком заполненных оболочках. Атом же хлора с готовностью принимает еще один электрон, с тем чтобы до конца заполнить свою *M*-оболочку. Если, таким образом, соединить натрий с хлором, то каждый атом хлора притягивает к себе один электрон атома натрия. В результате атомы хлора и натрия химически соединяются и образуют хлористый натрий.

Среди органических соединений можно найти молекулы, состоящие из тысяч и даже миллионов атомов.

Из всех химических соединений, которые могут образовывать атомы, самыми интересными несомненно являются органические вещества. Самым важным их элементом является углерод, который обычно находится в соединении с кислородом и водородом. Многие вещества содержат азот, а также и другие элементы. Органические вещества примечательны не размером своих молекул. Кристалл, например, можно рассматривать просто как гигантскую молекулу, а алмаз содержит несравненно большее число атомов углерода, чем любая органическая молекула. Однако в алмазе атомы находятся в строго определенном порядке — они распо-

ложены ровнее, чем шеренги солдат на параде. Органические вещества имеют разнообразную и изменчивую структуру. Соединяясь, атомы углерода могут образовывать кольца, а также длинные цепи, иногда с ответвлениями. К такому углеродному каркасу присоединяются атомы кислорода, водорода и многие другие атомы. Совершенная симметрия сообщает алмазу его твердость и блеск; однако именно беспорядочность и разнообразие соединений делают органические вещества гораздо более ценными, чем алмазы, поскольку они являются носителями жизни. В то время как алмаз отличается устойчивой и постоянной структурой, органические вещества скоропреходящи. Длинную углеродную цепь легко разорвать, с таким же успехом ее можно удлинить. Внутри молекулы атомы могут менять свое положение, а органическое соединение может легко видоизмениться в другое. Такая гибкость и разнообразность видоизменения соединений дает возможность молекулам создавать невероятно сложные структуры живых существ.

Все вещества — будь то воздух, вода, земля, сталь, стекло, дерево или протеины — состоят из атомов. Благодаря нашему глубокому знанию структуры атома мы можем вычислить силы, с которыми атомы воздействуют друг на друга. Химические силы могут быть рассчитаны в соответствии с квантовомеханической теорией атома, а отсюда мы можем вывести свойства всех веществ — по крайней мере в принципе. Как мы уже упоминали, эта оговорка («в принципе») очень важна. Мы видели, как можно теоретически рассчитать спектр простейших атомов, а также и другие свойства с той же самой точностью, с какой они могут быть измерены. Переходя к более сложным атомам, мы не видим причины, по которой мы не смогли бы рассчитать их теоретически; однако, как показывает практика, выполнение таких вычислений представляет собой огромную обескураживающую работу. Это ограничение относится к химическим силам. Исходя из наших знаний о структуре атома водорода, мы подробно рассчитали условия, при которых соединяются два атома водорода, образуя молекулу водорода, мы также теоретически определили различные свойства этой молекулы. Результаты этих расчетов совпадают с нашими наблюдениями. Для бо-

лее сложных соединений расчеты эти менее точны. Между теорией и наблюдениями не найдено неувязок, да и нет причин ожидать их. *В принципе* поэтому про всю химию можно сказать, что она подпадает под атомную теорию и, стало быть, свойства всех веществ могут быть теоретически выведены из основных законов квантовой механики. Однако теоретические расчеты для большинства веществ становятся слишком сложными. Проще исследовать свойства вещества, используя обычные химические методы, чем выводить их теоретически.

Хотя это утверждение особенно справедливо в отношении большинства сложных органических веществ, тем не менее использование квантовой механики в органической химии исключительно важно. При помощи квантовой механики ученые получили много результатов, имеющих важное и прямое отношение к органической химии и биохимии.

Молекулы создают клетки

Давайте теперь подытожим наши наблюдения в изучаемой нами цепи усложнений. Мы видели, как два строительных кирпичика, таких простых, как атомные ядра и электроны, образуют атомы с очень сложными свойствами. Такой сложный результат и поразителен и очевиден: несколько простых строительных кирпичиков соединяются вместе, в результате чего образуется не только их сумма, но и так называемое их *соединение*. Неверно будет утверждать, что целое является просто лишь суммой составляющих его частей, поскольку решающее влияние имеет способ расположения частей при образовании «целого». Атом кислорода — это не просто ядро плюс восемь электронов, а ядро, окруженное двумя электронами, находящимися на внутренней оболочке; это организм, способный абсорбировать или испускать определенные линии спектра, вступать с определенными другими атомами в различные химические соединения, а также участвовать в целом ряде сложных реакций. И все эти новые свойства появились автоматически. При создании атома кислорода не вводился ни один новый элемент; мы можем скорее рассматривать все это как очевидное последствие свойств частей, входящих в его состав. Если они соединились, то это именно то, что должно произойти согласно законам физики.

Однако полученный нами результат — атом кислорода со всеми его сложными свойствами — тем не менее нечто такое, чего не могли предсказать наши теоретические выводы. Соединение простых частей дало новое вещество со многими новыми свойствами.

На следующей стадии в качестве строительных блоков выступают атомы, образующие молекулы. И в этом случае также возникают новые свойства. Как мы видели, обычная соль — хлористый натрий состоит из натрия, являющегося легкоокисляющимся легким металлом, и хлора — довольно тяжелого зеленого ядовитого газа; ничего больше в его состав не входит. Однако их соединение обладает свойствами, целиком отличными от свойств входящих в его состав компонентов.

Теперь мы подготовлены к рассмотрению третьего звена цепи — структуры клетки. Здесь уже в качестве строительных блоков выступают не электроны и не атомы, а невероятно сложные молекулы, в большинстве своем молекулы протеина. Результатом их соединения является живая клетка, которая по своей сложности превосходит атом настолько же, насколько молекула протеина превосходит электрон.

Как мы упоминали в предыдущем параграфе, существование четкого различия между «живой» и «мертвой» материей когда-то было общепризнанно, а некоторыми учеными признается и сейчас. Согласно их взглядам, клетку нельзя рассматривать как простую комбинацию молекул, скорее следует допускать нечто новое, в том числе так называемую «жизненную силу». И в таком случае клетка не подчиняется целиком физическим (или химическим) законам; вместо этого жизненная сила является истинным управляющим элементом, который заставляет эти законы работать с определенной целью.

Нельзя, конечно, представлять себе клетку просто как группу молекул. Совершенно очевидно, что при образовании клетки из молекул появляется нечто новое. Но столь же ясно, что атом — это не просто сумма элементарных частиц. Когда эти частицы, соединяясь, образуют атом, что-то новое возникает автоматически, а именно комбинация частиц — их взаимодействие, сообщающее атому многие новые свойства, которых нет у

отдельных компонентов. Приведем еще более простой пример, иллюстрирующий тот же самый принцип; возьмем три прямые линии (как известно, прямая линия является одним из простейших геометрических элементов). Построив из них равносторонний треугольник, мы обнаруживаем целый ряд новых и неожиданных свойств: сумма углов треугольника равна двум прямым углам, высота треугольника равна $\frac{1}{2}\sqrt{3}$, умноженной на длину стороны, и т. д. А если мы начнем соединять вместе несколько равносторонних треугольников одного размера, мы сможем построить три и только три геометрических тела: четырехгранник, восьмигранник и двадцатигранник с четырьмя, восемью и двадцатью сторонами соответственно. Если кто-либо сомневается в том, что новые, неожиданные свойства являются результатом простой комбинации простых элементов, пусть тот установит зависимость между объемами восьмиугольника и двадцатигульника!

До появления жизни на Земле элементы, образующие ее, входили в состав различных химических веществ. С точки зрения нашего рассуждения важнейшими из них были углеродистые соединения. Находящаяся в воздухе угольная кислота абсорбировалась водой, и под влиянием солнечных лучей и последующих температурных изменений образовывалось все больше и больше соединений углерода, водорода, кислорода, а возможно, и других веществ. На протяжении миллионов лет образовались всевозможные соединения, в основном простые; однако время от времени случайно появлялось несколько молекул и более сложных веществ. Одна из них случайно приобрела способность принимать определенные другие молекулы из окружающей ее среды и вместе с ними образовывать новую молекулу оригинальной структуры. Эта молекула «размножилась» и заполнила небольшое озеро или пруд, в котором это скромное, но важное событие произошло.

Однако для появления «жизни» необходимо было нечто гораздо большее, чем это событие. Если способное размножаться вещество становится обычным явлением, вероятность случайного изменения одной из его молекул неимоверно возрастает (такое изменение могло произойти, например, в результате перемены некоторыми атомами мест или изменения состава молекул за

счет новых атомов). В результате большинства этих изменений способность к размножению была утеряна. Но у некоторых из новых молекул это свойство сохранилось. В результате получилось новое вещество с несколько другими свойствами, но все еще способное к размножению.

Два или более таких вещества с различными свойствами также могли соединяться и образовывать более сложный комплекс, способный выполнять большее число сложных химических реакций. Это уже были простые организмы.

Среди этих организмов вскоре воцарилась конкуренция. Те из них, которые могли быстрее размножиться и были наиболее устойчивыми к различным изменениям в окружающей среде, имели наибольшие шансы выжить. Если, например, озеро, в котором они жили, случайно пересыхало или промерзало, все организмы, неспособные перенести ниспосланные на них тяжелые испытания, погибали, и лишь самые крепкие выживали.

Случайные изменения, происходящие среди молекул, продолжают иметь место и среди этих простейших организмов; биологи называют эти изменения мутациями. Результатом большинства мутаций является пониженная приспособляемость к жизни, и поскольку это означает постепенное (а то и быстрое) исчезновение данного вида, такие мутации не представляют для нас большого интереса. Гораздо важнее мутаций, дающие более выносливые виды путем усиления способности к воспроизводству или к устойчивости против внешних опасностей. Многие организмы повысили свою выживаемость путем усложнения, в результате чего и появились на свет сложнейшие существа.

Клетки Клетка является мельчайшей сооружают растения тавной единицей растений и жи-
и животных вотных, вот почему такой одноклеточный организм, как амeba, рассматривается как типичное, очень примитивное, живое существо. Однако амeba вовсе не является самой примитивной формой жизни из всех известных нам форм. Напротив, это, если хотите, конечный результат длительного развития: от гигантских молекул до первых живых существ. Дальнейшее развитие от амeбы к человеку происходило уже на другом уровне, начиная с того момента, когда нес-

колько клеток объединились вместе. Именно изучение богатого и разнообразного мира гигантских молекул и примитивных микроорганизмов вселяет в нас надежду получить описание одноклеточного существа. Мы имеем все основания подозревать, что путь от молекулы до амебы ничуть не короче, а, пожалуй, даже длиннее пути от амебы до человека.

Как правило, клетка состоит из ядра, окруженного протоплазмой, которая, в свою очередь, окружена оболочкой. Ядро является носителем важнейших характеристик клетки, оно же регулирует деление клетки (как известно, клетка размножается именно таким путем). Ядро содержит несколько длинных бороздчатых нитей — *хромосом*, состоящих из длинных спиральных молекул. Хромосомы являются носителями *генов* — наследственных факторов (или единиц наследственного материала), которые в принципе определяют реакции клетки. Когда путем последовательного деления оплодотворенная яйцеклетка развивается в многоклеточное существо — растение или животное — именно гены определяют характеристики этого организма. Было продемонстрировано, что каждый наследственный фактор или связан с одной из гигантских клеток, или фактически составляет ее. Если одна из этих молекул претерпевает изменение, имеет место мутация, изменяя, таким образом, одно или несколько свойств существа, ожидаемого от оплодотворенной яйцеклетки. Такие мутации могут быть вызваны биологическими экспериментами, например, при облучении клетки большой дозой. Такие мутации встречаются также и в природе, многие из которых происходят под воздействием слабого космического, а также повсеместно встречающегося радиоактивного излучения.

За последнее время признание получила общая идея, состоящая в том, что биологическое развитие может быть объяснено мутациями в комбинации с естественным отбором. Существование теории Дарвина, таким образом, принимается. Во времена Дарвина ничего не было известно о мутациях. Их открытие привело к обширным модификациям его теории, но оно также отменило наиболее важные возражения против нее.

В целом развитие от амебы к человеку происходило по той же самой схеме, что и развитие от гигантских

молекул к клеткам. В процессе мутации животного или растения изменению подвергается один или несколько его наследственных признаков. В результате мутировавший индивидуум и его потомок, подобно мутировавшим молекулам, повысили или снизили свое искусство в борьбе за существование. Если этот вид оказывается менее приспособленным, он вскоре вымирает, а мутация в конечном счете существенного результата не дала. Но если новый вид или разновидность приобрела способность прокормить себя более легко, защищаться от врагов более успешно и быстрее размножаться, он постепенно превосходит те группы, которые не улучшили свои характеристики посредством мутации. Посредством серии благоприятных мутаций и процесса отбора, являющегося результатом борьбы за существование, в природе происходят непрекращающиеся изменения. В то же самое время наблюдается постоянная дифференциация. Одна мутация делает растения морозоустойчивыми, другая — тепличными. Впоследствии этот вид соответственно разделяется на два вида: северный и южный, не соперничающие друг с другом. Вполне возможно, что оба эти вида могли процветать бок о бок. Огромное количество видов, составляющих царства растений и животных, показывает, какое обилие разнообразных видов может существовать в пределах одной и той же области.

Мутации и естественный отбор — самые важные факторы появления новых видов и изменений, которым они подвержены. Существует также третий фактор — двуполое размножение, ускоряющий процесс развития. Предположим, что для превращения одного вида в другой потребуются мутации, воздействующие на многие различные гены. Если размножение в природе однополое, так что каждая дочь наследует характерные особенности матери, все эти мутации должны иметь место на протяжении этой очень прямой нисходящей линии. Если же размножение двуполое, каждый индивидуум наследует характерные особенности как отца, так и матери. Для такого индивидуума открывается возможность унаследовать все мутации, появившиеся среди многих его предков. Таким образом, двуполое размножение необходимо для очень больших изменений, необходимых для появления более сложных видов. Тем, что нам уда-

лось к настоящему времени превратиться в человеческие существа, мы обязаны тому факту, что мужчина и женщина вновь и вновь создавали смесь своих биологически лучших наследственных характеристик, а также наилучших, но это в конечном счете не было очень важным фактором.

Это верно, что вся огромная область исследований биологического развития еще очень далека от такого состояния, когда мы сможем с уверенностью сконструировать каждую деталь этого развития. Но мы начинаем понимать, какие факторы являются самыми важными. Мы начинаем видеть, что благоговеючее чудо эволюции от амебы к человеку — а оно несомненно является благоговеючим — не было результатом всемогущего слова творца, а комбинацией небольших процессов, на первый взгляд кажущихся незначительными. Структурное изменение в молекуле внутри хромосомы, результат борьбы за пищу между двумя животными, размножение и кормление малышей — таковы простые явления, которые в совокупности на протяжении миллионов лет создали великое чудо. И оно никак не отделено от нашей повседневной жизни. Чудо это заключено в нашем повседневном мире, если только мы обладаем способностью видеть его.

Образование сообществ Последним шагом в длинной цепи усложнений является соединение растений и животных и образование сообществ. Наиболее поразительным является образование сообществ среди животных. В растительном мире подобные взаимоотношения также играют очень важную роль.

В растительном мире часто случается, что одно растение живет за счет другого частично или целиком: паразит сосет питательные соки из своего «хозяина». Два растения могут также существовать в состоянии симбиоза, черпая питательные вещества друг из друга или определенным образом помогая друг другу. Наиболее распространенным примером симбиоза являются бактерии, живущие на корнях бобовых растений и образующие наросты на них. Эти бактерии питаются за счет растения; но поскольку они могут поглощать азот непосредственно из воздуха, а растение лишено такой возможности, они помогают растению, снабжая его азотистыми соединениями. От этого простого примера сим-

биотического сотрудничества между двумя различными растениями мы можем перейти к более сложным типам сотрудничества. Наука, изучающая сосуществование растительных форм, называется *экологией*; и чем больше она развивается, тем явственнее показывает нам, насколько невероятно сложно взаимодействие между разными растениями в лесу или в пустыне. Для пышного роста растение нуждается не только в благоприятном климате и хорошей почве, но также в хороших соседях, которые до известной степени являются соперниками, но которые также оказывают существенную помощь.

В мире животных мы наблюдаем обширное разнообразие типов сообществ, существующих с целью взаимной помощи. Наименьшим из них является семья. Мать, а то и оба родителя, дает своим детенышам пищу и кров, что жизненно важно для продолжения рода. Иногда выгодны более многочисленные сообщества. Для более эффективной охоты волки объединяются в стаи; дикие кабаны и слоны собираются в стада для совместной защиты против своих врагов. С другой стороны, дикие кошки и львы предпочитают охотиться в одиночку; у зайцев же защита против врагов строится так, что сколько бы их ни собиралось вместе — эффект один и тот же и равен эффекту одного зайца. Возможно, когда-то, в ходе эволюции, среди семьи кошек и появился индивидуум, склонный к охоте стаями; но поскольку этот метод давал меньше пищи на каждого животного и не приносил никакой выгоды, от него вскоре отказались.

Для некоторых животных оказалось выгодным формирование больших, хорошо организованных сообществ. Наиболее ярко выраженными являются «социальные» формирования у муравьев и пчел.

Атомы и люди

Органы чувств как физические приборы Мы проследили длинную цепь, которая привела нас от элементарных частиц и атомов к таким сложным существам, как человек. Вы можете спросить, увело ли нас это развитие из царства

атомов или же атомные явления все еще непосредственно влияют на человеческий организм. На этот вопрос можно ответить, изучая функции наших органов чувств.

Если физик хочет измерить интенсивность светового луча, он часто использует фотоэлемент — прибор, который при освещении дает электрический ток, величина которого пропорциональна интенсивности света. Если свет слишком слаб, чтобы вызвать ток, измеряемый обычным фотоэлементом, то к нему подсоединяют примерно такой же усилитель, какой применяется в обычном радиоприемнике. Фотоэлемент с подключенным к нему усилителем может обнаруживать свет даже очень малой интенсивности. Мы получим даже лучший результат, если заменим фотоэлемент фотоумножителем или другой светочувствительной трубкой. При помощи этих устройств чувствительность может быть доведена до такой точки, когда можно обнаружить единичные фотоны.

Как мы заметили в начале второй главы, согласно корпускулярной теории свет состоит из потока фотонов. Наименьшее количество света, которое теоретически возможно обнаружить, это фотон, так как меньшего количества света просто не существует. Фотон невозможно обнаружить непосредственно. Его существование доказывается другими путями; например, различными способами можно зарегистрировать движение электрона, возникшее в результате столкновения его с фотоном. Фотоны рентгеновских лучей и гамма-излучения настолько богаты энергией, что электроны, с которыми они сталкиваются, приобретают высокие скорости, и их сравнительно легко обнаружить. С помощью самых чувствительных инструментов для измерения гамма-излучения мы можем получить сигнал почти о каждом фотоне, который достигает измерительный прибор. Поэтому можно непосредственно сосчитать число проходящих фотонов, и с этим достижением мы добились предела теоретически возможного. Но фотоны видимого света обладают гораздо более низкой энергией, и следовательно, их способность выбивать электроны, которые затем могут быть обнаружены, уменьшилась. Используя лучшие инструменты, созданные до сих пор, мы можем обнаружить в среднем каждый пятый или десятый фотон.

Может ли человеческий глаз сравниться с каким-либо из этих высокочувствительных приборов? Чувствительность глаза сильно колеблется в зависимости от внешних условий. От яркого солнечного света чувствительность понижается, и она бывает максимальной, лишь когда у глаза было некоторое время, чтобы приспособиться к очень слабой освещенности. Степень чувствительности также сильно зависит от цвета, самая высокая чувствительность по отношению к желтому цвету, самая низкая — к красному и синему. Чтобы измерить чувствительность глаза в наиболее благоприятных условиях, мы измеряем чувствительность к желтому цвету после того, как глаз адаптировался в темноте. Такой способ исследования показал, что самый слабый световой сигнал, обнаруживаемый глазом, соответствует нескольким (пяти или десяти) фотонам, прошедшим сквозь зрачок и достигшим сетчатки. Таким образом, в наиболее благоприятных условиях глаз демонстрирует максимум чувствительности, которая только физически возможна.

Сетчатка глаза содержит светочувствительное вещество (зрительный пурпур), которое преобразовывается под действием света. Это преобразованное вещество вызывает нервное возбуждение, которое передается в мозг, где оно воспринимается как свет. Если сквозь зрачок проникает несколько фотонов, можно ожидать, что только один или два достигнут светочувствительного вещества, а каждый фотон изменяет не более одной молекулы зрительного пурпура. Так, наименьшее количество света, воспринимаемое глазом, соответствует изменению одной молекулы или, возможно, двух или трех.

В таком случае функция глаза целиком зависит от атомных явлений: в наиболее благоприятных условиях человеческий глаз регистрирует единичный квант света.

Чувствительность уха также является самой низкой из физически возможных. Если физик хочет измерить звук, он использует микрофон в комбинации с усилителем. Когда звуковые волны достигают мембраны микрофона, они вызывают колебания, которые производят электрические токи, которые, в свою очередь, могут быть усилены. Чем чувствительнее микрофон и усилитель, тем слабее может быть звук, обнаруживаемый с их помощью. Предел, который можно достигнуть, опреде-

ляется тепловым движением молекул. Так как температура тела выше -273°C (абсолютный нуль), его молекулы находятся в постоянном движении. Мембрана микрофона приводится в движение молекулами воздуха. К тому же молекулы вещества самой мембраны также хаотично перемещаются и вызывают дополнительное беспорядочное движение. Колебания необыкновенно малы, но измерительные приборы настолько совершенны, что обнаруживают даже эту вибрацию. Если звук настолько слаб, что вызываемая им вибрация мембраны микрофона меньше, чем вибрация из-за теплового движения, то, конечно, существование его как физического факта установить невозможно. Мы не можем в таком случае верно определить колебание как «звук», пока оно не будет сильнее, чем тепловое движение молекул. Следовательно, при помощи чувствительного микрофона и усилителя можно обнаружить любой звук, характеристика которого в несколько раз больше, чем при тепловом движении.

Наши звукочувствительные органы расположены в среднем ухе, и когда звук достигает барабанной перепонки, он затем передается в среднее ухо. Звукочувствительные органы начинают колебаться, что воспринимается нами как звук. Чувствительность уха изменяется с частотой звука. Наибольшая чувствительность наблюдается, когда частота звука равна нескольким сотням колебаний в секунду, что примерно соответствует октаве тенора. Минимальная сила, которой должен обладать звук оптимальной высоты, чтобы быть воспринятым ухом, соответствует такой величине, когда он вызывает колебания в среднем ухе в несколько раз больше, чем тепловые колебания молекул. Молекулы звукочувствительных органов среднего уха, как и всех остальных предметов, находятся в тепловом движении и поэтому постоянно колеблются. Если это «естественное» состояние нарушается достигшим уха звуком, то, для того чтобы вызвать реакцию звукочувствительных органов, частота колебания звуков должна быть лишь в несколько раз больше частоты теплового колебания. Таким образом, звук как таковой воспринимается в том случае, если, достигнув среднего уха, он отвечает определению «звука», изложенному выше. Совершенно справедливо, что внешнее ухо могло бы быть устроено так, чтобы

улавливать больше звуков, и проход, ведущий в среднее ухо, мог бы иметь более эффективное устройство. Большим преимуществом была бы также чувствительность уха как к высоким, так и к низким звуковым частотам. Но, несмотря на эти гипотетические замечания, звуковоспринимающие органы среднего уха, в общем, также чувствительны к тонам оптимального звукового интервала, как и любой физический прибор, созданный для этой цели. Ухо действует в пределах, установленных соответствующими атомными явлениями.

В отличие от чувствительности органов слуха и зрения чувствительность органов обоняния гораздо труднее оценить в терминах аналогичных атомных явлений. Теоретически наименьшее количество вещества — это молекула; но для того чтобы обнаружить запах, необходимо, чтобы большое число молекул достигло слизистой оболочки носа. На основании этого мы могли бы сделать вывод, что у всех людей — как у старого рыбака из традиционной шведской сказки — хорошее зрение, хороший слух, но ужасное обоняние. Однако такое утверждение, по-видимому, неверно, так как количество вещества, необходимое для того, чтобы нос почувствовал запах, часто гораздо меньше количества, необходимого химику для обнаружения вещества.

Прямую связь человеческого тела с миром атомов, проиллюстрированную функционированием глаза и уха, пожалуй, можно назвать ценным и хорошо налаженным наследством от наших древнейших предков, организмов, состоящих лишь из нескольких молекул и отличающихся от амёб, как амёбы отличаются от нас.

Нервная система и ее деятельность Все возрастающая сложность нервной системы сыграла решающую роль в развитии высших животных и особенно человека. Человек стал хозяином природы не благодаря лишь своей физической силе, ловкости или невероятной способности к размножению; своим превосходством он обязан скорее тому, что его нервная система стоит выше нервных систем других животных. Великолепная организация нервных клеток его мозга сделала его хитрым, мыслящим и систематичным, и в борьбе за господство в мире эти черты были важнее, чем сила слона или ловкость тигра; в последнее время благодаря своему, правильному научному об-

разу мышления человек преуспел даже в сдерживании огромной силы размножения насекомых и бактерий.

Большое значение нервной системы заключается в ее функции координирования реакций различных частей тела. Единственная клетка одноклеточного организма непосредственно подвергнута влиянию внешнего мира. Его способность обнаруживать пищу или своевременно распознавать яд является следствием прямого эффекта этих веществ на клетку. У многоклеточного животного прямому действию извне подвергнуты лишь клетки, лежащие на поверхности; но для оптимальной реакции всего организма необходимо, чтобы так или иначе раздражения из внешней среды были переданы каждой клетке. Некоторые из этих средств коммуникации — химические, так как клетки влияют друг на друга посредством непрерывного взаимного обмена веществами. Однако химический контакт между клетками проходит очень медленно, особенно у высших животных, так как для распространения вещества по организму требуется время. Чтобы удовлетворить потребность в более быстром междуклеточном сообщении, некоторые клетки стали развиваться таким образом, что они стали длинными, нитеобразными и легковозбуждаемыми — это и есть нервные клетки. Возбуждение одного конца нервной клетки почти немедленно приводит в возбуждение всю клетку. Если нервное волокно соединяет два органа тела, состояние одного органа может быстро передаваться другому органу.

Если один конец нервного волокна подвергается возбуждению, то его нормальное химическое состояние в области этого возбуждения нарушается, и там возникает система электрических токов; эти токи, в свою очередь, последовательно нарушают химическое состояние всего волокна, где затем возникают новые токи. Так образуется электрохимический импульс, распространяющийся вдоль всего нервного волокна со скоростью, достигающей у теплокровных животных 50 м/сек. Достигая другого конца нервного волокна, импульс возбуждает мышцу, заставляя ее сокращаться. Именно таков процесс, заставляющий человека вздрагивать при электрическом шоке. Возбуждение другого нерва может заставить железу усилить свою секрецию: например, слюна и желудочные соки выделяются после того, как оп-

ределенные нервы сигнализируют о голоде. Наверное, наиболее интересен тот факт, что импульс, возникший в одном нерве, может передаваться одной или несколькими другим нервным клеткам. Это происходит в так называемых *синапсах* — местах, где соединяются несколько различных нервных клеток. Следовательно, возбуждение, идущее из одной части тела, может быть одновременно передано посредством крайне сложной нервной системы во многие различные части тела и вызвать там подчас весьма сложную систему реакций.

Каждый импульс, возникающий в результате возбуждения нервной клетки, имеет определенную силу и продолжительность, не зависящие от силы и продолжительности возбудителя. Возбудитель может быть очень слабым, очень сильным или же средним; степень интенсивности действительно влияет на *частоту* импульсов, т. е. на число импульсов, проходящих сквозь нерв за каждую секунду. Например, нерв, отходящий от любой чувствительной точки на поверхности кожи, обычно не посылает импульсы в крупные принимающие центры спинного или головного мозга. При слабом возбуждении этой части кожи нерв посылает нечастые импульсы до тех пор, пока существует сам возбудитель. Головной мозг воспринимает эти сигналы как слабую боль. Если возбудитель усиливается, увеличивается и число импульсов в секунду, но каждый импульс имеет ту же величину. Чем чаще импульсы поступают в головной мозг, тем сильнее ощущение боли.

Видение и телевидение Теперь давайте сравним технические и физиологические методы передачи изображения. Возьмем пример из области электротехники: используя телевизор, мы исследуем условия, необходимые для передачи изображения в виде сигналов по кабелю, а затем спросим себя, улучшит ли это наше понимание функционирования зрительного нерва — кабеля, соединяющего глаз с головным мозгом.

В телевизионной камере изображение, подлежащее передаче, разделяется примерно на сто тысяч точек, а затем информация о каждой точке передается приемнику: то есть светлая она или темная, или (если телевизор цветной) какого она цвета. Передача всей этой информации, содержащей данные о световой силе или цве-

те ста тысяч точек, занимает не больше $1/20$ секунды. Для того чтобы воспроизводимые движения казались зрителю естественными, необходимо посылать около двадцати изображений в секунду.

Наиболее интересной технической проблемой является невероятная скорость передачи, необходимая при этом. За $1/20$ секунды должны быть посланы сто тысяч телеграмм — по одной на каждую точку, составляющую изображение. Так как изображение становится отчетливее с увеличением количества точек, то, вероятно, важнейшей проблемой телевидения является высылка возможно большего количества телеграмм в секунду, или, используя популярное выражение, как можно большей «информации». Были проведены чрезвычайно точные исследования с целью установить, какие факторы ограничивают количество информации, которую можно послать посредством электрического тока с определенными свойствами.

Результаты этих исследований могут быть применены и к нервным волокнам. Мы знаем, что максимальное количество информации, которое можно послать по нервному волокну, гораздо меньше того, которое можно послать по электрическому токонесущему проводу. Это вполне естественно, так как скорость нервных импульсов гораздо меньше скорости электромагнитных сигналов. А так как часто очень важно послать гораздо больше информации, чем это возможно передать через одно волокно, единственным выходом будет посылать информацию сразу по многим параллельным нервным волокнам. Так, впрочем, эта проблема и решается: многие нервы состоят из тысяч волокон, и даже если каждое отдельное волокно не может передать большой объем информации, общая способность всех волокон нерва очень велика. Раз мы знаем свойства нервного волокна и количество нервных волокон в зрительном нерве, можно подсчитать максимальный объем информации, которую можно передать из глаза в мозг. Мы увидим, что это количество все же гораздо меньше, чем количество, необходимое для передачи телевизионного изображения. Это означает, что видимая нами картина не может быть полностью передана из глаза в мозг. Другими словами, зрительный нерв не может обеспечить мозг информацией о том, как выглядит каждая часть

нашего зрительного поля в каждую секунду. Послание из глаза в мозг, таким образом, может передать лишь важнейшие черты того, что мы видим — черты, которые по той или иной причине представляют какой-то интерес. Таким образом, глаз — это не «объектив», который автоматически воспринимает изображение и затем посылает его в мозг для обработки. Скорее, воспринимаемое глазом изображение подвергается первоначальной обработке и систематизации в нервных центрах, примыкающих к сетчатке глаза. Конечный результат этой обработки, посылаемый в мозг, представляет собой нечто вроде «кодированного» послания, содержащего определенные важнейшие черты изображения в достаточно сжатом для передачи по зрительным нервам объеме.

Мы мало знаем и о принципах обработки и о форме, в которой это кодированное послание доставляется в мозг. Можно сделать определенные выводы из того факта, что совершенно различные изображения могут вызывать одинаковые впечатления. Проведя всего лишь несколько штрихов на листе белой бумаги, художник может сделать эскиз, посмотрев на который, мы сразу же узнаем модель, с которой он был сделан. Возможно, это происходит благодаря тому, что синтез, осуществляемый в центрах зрительного нерва, когда глаз останавливается на модели, подобен синтезу, происходящему в нём, когда мы смотрим на рисунок углем; и если это так, то сигналы, поступающие в мозг от обоих объектов, обладают определенным сходством. Объективно рассуждая, цветная фотография должна передавать зрительное впечатление, очень похожее на непосредственное впечатление от самой модели, в то время как рисунок может состоять из нескольких черных контуров, которые не существуют в действительности. И тем не менее рисунок может показаться более «реальным», чем фотография! Настоящий художник интуитивно чувствует правила, по которым нервные клетки глаза кодируют свои послания, и его искусство состоит именно в том, чтобы заставить клетки зрительного нерва наблюдателя посылать в мозг сообщения, содержащие больше правды, чем в сообщениях, вызываемых фото.

**Математика
и машины**

Давайте сначала исследуем очень простую маленькую машинку — арифмометр. Он состоит из девяти

зубчатых колес, на каждом из которых по десяти зубцов, каждый зубец представляет единицу. Если первое колесо повернуть вперед на 6 зубцов, то это означает цифру 6. Второе колесо представляет десятки, третье — сотни и т. д. При помощи этих девяти колес мы можем получить все числа, выраженные девятью знаками, т. е. все числа до 999 999 999. Если включить в подсчеты 0, эти девять колес могут означать миллиард различных чисел. Другими словами, эти девяносто зубцов могут дать миллиард различных комбинаций.

Если у арифмометра есть второй набор из девяти колес, он, естественно, также может выражать все числа до миллиарда. Если в арифмометре есть еще несколько колес, он может производить сложение и вычитание чисел, полученных на первых двух наборах колес. Еще более сложные машины могут умножать и делить числа.

Разве не ясно, скажет кто-нибудь, что машина состоит из двух разнородных частей — материальной и нематериальной или математической? Инженер, ремонтирующий машину, имеет дело исключительно с ее конструкцией; а математик, который погружается в прекрасное и загадочное царство чисел, соприкасается лишь с нематериальной частью машины. Для него позвякивание колес во время вычисления не более чем неприятный, мешающий шум, если он его вообще замечает. Через некоторое время он, возможно, начинает верить, что нематериальный компонент машины не только гораздо прекраснее материального, но и совершенно независим от него. Его подозрения лишь укрепляются, когда он видит, что те же математические операции можно выполнять на машинах совершенно другой конструкции. И зубчатое колесо вовсе не обязательно! Счетная машина может состоять, например, из электрических реле или транзисторов, или запоминающих устройств. Это иллюстрирует степень независимости нематериального элемента машины от материального.

Можно еще глубже исследовать метафизику счетно-вычислительной машины. Тогда, допуская, что математические операции параллельны, но независимы от движений зубчатых колес, кое-кто, возможно, захочет приписать машине душу, пускай, конечно, и небольшую. Но никто не станет утверждать, что нематериальный эле-

мент машины направляет материальный элемент, так как это означало бы, что машина решила задачу лишь благодаря чисто «интеллектуальному» усилию, а затем «проявлением воли» повернула свои колеса, чтобы показать результат. Более обоснованным будет выглядеть утверждение о том, что «нематериальная» часть вычислительной машины состоит из *комбинаций* позиций материальных элементов. Совокупность девяти-, десятизубчатых шестеренок больше, чем просто девять шестеренок; вместе они — миллиард позиционных комбинаций. Именно эти комбинации составляют числа, и счетные операции происходят в результате изменений этих комбинаций в соответствии с определенными правилами. Эти комбинации независимы от их материальной базы в том смысле, что одни и те же комбинации могут состояться и большими зубчатыми колесами, и маленькими, или же транзисторами вместо колес. Мы можем великолепно работать с комбинациями, совершенно не обращая внимания, из чего они действительно состоят. По нашему желанию мы можем рассматривать эти комбинации как «духовный» элемент, но и это опять-таки вводится разумным образом, как неизбежное следствие рассматриваемой проблемы.

Вычислительная машина

Импульсная техника приобрела широкую известность в результате быстрого развития вычислительных машин, постепенно осуществляющих революцию в нашем обществе. Это драматическое положение является результатом все увеличивающейся потребности во многих областях в сложных вычислениях, которые должны быть выполнены быстро и точно. Вычислительные машины отличаются от обычных простых счетных машин в двух отношениях: скорость их работы фантастична по сравнению со скоростью счетных машин; кроме того, они могут сами направлять ход вычислений в соответствии с предписанным планом или программой.

Создание вычислительной техники стало возможным лишь благодаря развитию электроники. Первые вычислительные машины обозначали число, посылая несколько импульсов по различным цепям. Подобно различным зубчатым колесам в старом арифмометре, одна цепь представляла единицы, другая — десятки, третья — сотни и т. д. Но большинство используемых сейчас вы-

числительных машин выражает число при помощи двоичной числовой системы; это означает, что число может быть представлено серией импульсов в одной цепи. Числа, с которых начинаются вычисления, вводятся в специальную часть машины, называемую *запоминающим устройством («памятью»)*. Здесь число хранится в виде намагниченной ленты или системы электрических токов. Запоминающее устройство характеризуется способностью в любой момент посылать импульсы, означающие хранящееся в ней число. Если, например, мы хотим сложить два числа из хранящихся в памяти, оба эти числа посылаются в блок сложения. Когда оба сигнала одновременно поступают туда, блок сложения высылает серию сигналов, соответствующих сумме двух введенных чисел. Затем эта сумма может быть послана назад в другую часть запоминающего устройства и храниться там до момента, когда она потребуется для дальнейших вычислений. Вычитание также может быть осуществлено в блоках сложения. Блок умножения может перемножить любые из двух чисел, хранящихся в памяти машины.

Умножение двух десятичных чисел — утомительная операция, которую предпочитают избегать. Машина же может выдать ответ менее чем через одну сотую секунды. Она может считать гораздо быстрее, чем человеческий мозг, благодаря тому, что электрические импульсы в цепях машины перемещаются гораздо быстрее, чем сигналы, которые текут по запутанным тропам в клетках мозга, когда человек производит в голове какие-нибудь вычисления.

Таким образом, скорость вычисления машины гораздо превосходит человеческую. Но в способности оценивать и судить о результатах вычислений человеческий мозг все-таки превосходит любую машину, изобретенную до сих пор. Если математик хочет произвести сложное вычисление и у него есть ассистент, который ему помогает, он может дать ассистенту следующие инструкции: сначала сделайте эти вычисления; если результат больше, чем определенное число, произведите другое вычисление, если же результат меньше этого числа, пересчитайте еще раз. Другими словами, ассистент вычисляет в соответствии с определенным планом, но этот

план обязательно изменяется в процессе вычислений в зависимости от полученных результатов.

Доказано, что можно сконструировать вычислительные машины, которые могут управлять по крайней мере деталями своих собственных вычислений. Кроме блоков сложения, умножения и запоминающего устройства, этот тип машин имеет *контрольный блок*. Этот блок начинает различные вычисления и посылает импульсы, определяющие, когда число должно быть выслано из памяти и куда оно должно быть направлено — в блок сложения или умножения. Другими словами, контрольный блок обеспечивает выполнение вычислений в нужном порядке в соответствии с установленным планом. Но в процессе вычислений он может также изменить этот план в соответствии с заданной программой. Возьмем простой пример: попытаемся найти корень квадратный из 10, т. е. число, которое при умножении на само себя даст 10. Машина может быть проинструктирована или запрограммирована «нащупывать» правильное решение следующим образом: умножив какое-либо число само на себя, машина возьмет большее число, если результат меньше 10; но если же результат больше 10, машина выберет меньшее число. Машина начинает с доказательства самой себе, что 1×1 , 2×2 , 3×3 меньше 10, но 4×4 больше 10. Затем машина пытается умножить 3,1 на 3,1 и убеждается, что это слишком мало, но $3,2 \times 3,2$ — слишком много. Затем берутся числа 3,11, 3,12 и т. д. За секунду машина получает верный ответ — 3,162!

Более сложные проблемы, для решения которых машине нужно произвести миллионы вычислений, прежде чем будет достигнут конечный результат, могут занять часы и даже дни машинного времени. Машина оперирует числами, хранящимися в ее запоминающем устройстве, в соответствии с программой инструкций, находящейся в контрольном блоке. В некоторых типах машин весь процесс может протекать без единого движения внутри машины. Но хотя она безмолвна, она напряженно «думает» о задаче, посылая сигналы различным своим органам; но даже пути передвижения этих импульсов регулируются электрическими токами в транзисторах или электронных трубках, которые, в свою очередь, регулируются другими импульсами.

Современная вычислительная машина не может заменить математика, так как лишь математик может сформулировать задачу, а затем осмыслить результаты вычислений; но машина *может* заменить квалифицированного ассистента, более того, скорость ее работы такова, что она может заменить целый штат таких счетчиков. Математик инструктирует своего ассистента, общаясь с ним путем разговора, а машину — нажатием определенных кнопок. Так начинается процесс вычисления в человеческом мозгу или в машине. Нам известно до мельчайших подробностей о путях передвижения сигналов внутри машины; но наше понимание способов передвижения нервных импульсов по различным частям человеческого мозга все еще ограничено. Чем больше создается вычислительных машин, тем лучше наше понимание решения математических задач с помощью электротехники; и так как математические операции, происходящие в мозгу, в некоторых отношениях сходны с математическими операциями, используемыми электротехникой, возможно, таким путем мы расширим наши знания о процессах человеческого мышления или по крайней мере о некоторых аспектах этого сложного процесса.

Умственные операции, могущие быть выполнены с использованием вычислительной машины, не ограничиваются лишь математикой. Напротив, любая умственная деятельность, происходящая в соответствии с определенным планом, может быть выполнена такой машиной, даже если план очень сложен. Например, оказалось возможным научить вычислительную машину играть в шахматы и шашки. Машине сообщаются ходы противника и определяется, какие ходы она может сделать по правилам игры. Затем она рассчитывает ответные ходы противника, а также свои последующие ответные ходы т. д., пока она не выбирает наиболее благоприятную, на ее взгляд, возможность, соответствующую определенным правилам. Затем она соответственно передвигает свои фигуры. Насколько умела машина в игре, зависит от степени ее сложности. Машина, которая смогла бы померяться силами с кем-либо из больших шахматных мастеров, была бы огромных размеров и стоила бы очень дорого; но и обычных размеров машина может быть запрограммирована на правильную игру и мо-

жет даже победить новичка. В шашки счетные машины играют великолепно.

Можно, конечно, утверждать, что сходство между счетной машиной или автоматом, играющим в шахматы, и человеком, который вычисляет или играет в шахматы, не более чем внешняя аналогия. Мы еще недостаточно знаем о физиологии процесса мышления, чтобы разрешить этот спор с какой-либо долей определенности, но, как мы уже указывали, многое говорит за то, что это сходство не случайное. И нервная система, и машина пользуются электрическими импульсами, которые могут соединяться различными способами. В машине реле, вакуумные трубки или транзисторы выбирают между различными каналами. В нервной системе синапсы, точки соединения различных нервных волокон обладают той же функцией. Хотя основные цепи различны, конструкции показались бы сходными. Можно, конечно, возразить, что достижения машин — математические вычисления и, возможно, игра в шахматы — не могут сравниться с лучшими образцами абстрактной мысли человека. Но, с другой стороны, очевидно, что строение мозга несравненно сложнее любой существующей машины, так как такая машина имеет порядка 10 000 транзисторов, осуществляющих различные комбинации, в то время как количество синапсов в мозгу, которые направляют нервные импульсы по его различным каналам, исчисляется миллиардами. На базе наших сегодняшних знаний о вычислительных машинах мы можем предположить, что если бы такая машина имела столько же спаривающих элементов, сколько их содержится в человеческом мозгу, она была бы способна на реакции столь же сложные, что и происходящие в нашем мозгу.

Космическая перспектива

Галактики и звезды

Одной из самых сложных проблем физики является определение возраста Вселенной: всегда ли она существовала или же она возникла в определенный момент времени?

Поскольку эта космологическая тема уже была рассмотрена в одной

из моих предыдущих книг («Миры и антимирь»)*, я не буду касаться ее здесь. Давайте лучше рассмотрим совокупность проблем совершенно иного характера — а именно, как наша часть Вселенной приобрела свою современную структуру. Если мы предположим, что одно время наша часть пространства содержала определенное количество материи, то возникает вопрос: каким образом эта материя приняла вид галактик? И почему часть вещества в пределах нашей Галактики существует в форме сильно разреженных газов, заполняющих большую часть Галактики, в то время как остальная часть материи сгустилась в звезды? Наконец, почему по крайней мере одна из этих звезд, которую мы называем Солнце, окружена планетами, среди которых находится и Земля?

С комплексами проблем такого рода преимущественно и имеет дело естественная наука. Нам довольно хорошо известно современное положение вещей; мы допускаем, что здесь применимы обычные естественные законы, и это предположение кажется вполне разумным. Мы пытаемся восстановить отправную точку, о которой мы можем строить до некоторой степени разумные предположения, и мы пытаемся как можно подробнее уяснить, как происходил этот процесс. Общий характер этой проблемы подобен проблеме происхождения и развития жизни, которая рассматривалась выше: мы знаем о современном биологическом состоянии, об органической жизни на Земле, о законах биологического развития; и мы в состоянии сделать определенные общие предположения о первоначальных условиях, т. е. о возможных химических процессах, которые происходили на Земле до появления жизни.

Из всех сил природы, которые способствовали созданию мира в его современной форме, наиболее важной явилась сила притяжения, гравитация. Всякое тело притягивает любое другое тело, но сила притяжения быстро уменьшается с увеличением расстояния между этими телами. Сила притяжения способствует сцеплению материй. Если по той или иной причине в пространстве оказывается большое облако разреженного газа, то под влиянием силы притяжения вещество собирается в центре. Все вещество облака могло бы быстро сконцентрироваться в гигантскую массу, если бы этому не мешало тепло, выделяемое в процессе концентрации. Процесс зависит и от того, сыграет ли антивещество свою решающую роль. Если концентрация, происходящая под влиянием силы притяжения, происходит в сравнительно малом объеме пространства, то может образоваться звезда. Если эта звезда достаточно велика, то исходящая из нее радиация может вызвать отталкивающую силу, не позволяющую остальному газу приблизиться к звезде.

Если в нескольких различных частях первоначального облака появляются районы с плотностью, превышающей плотность окружающей их среды, может образоваться несколько местных центров конденсации, т. е. вещество преобразуется в несколько различных тел. Эти тела притягиваются друг к другу, но не обязательно объединяются в одно громадное тело. Вместо этого, как правило, они начинают вращаться вокруг друг друга, и центробежная сила этого движения противодействует силе притяжения, ведущей к даль-

* Х. Альвен. Миры и антимирь. М., «Мир», 1968.

нейшей концентрации. Можно предположить, что звездная система, подобная галактике, сформировалась именно таким образом.

Как уже упомянули, классическая механика — это наука о движении тел, и всеобщее тяготение является одной из самых важных сил во всех таких движениях. Обладая знанием классической механики, мы можем понять, по крайней мере в основных чертах, как возникли звезды и звездные системы.

Мы знаем, что, по существу, они являются продуктами силы притяжения и противодействующих ей выделения тепла и центробежной силы. Если мы допустим, что первоначально вещество во Вселенной или в ее большей части существовало в виде сильно разреженного газа, то вполне правомерно полагать, что со сцеплением газа произошло его сгущение, таким образом образовывая галактики. Внутри галактик происходило дальнейшее сгущение, в результате чего образовались звезды.

Но для более точного и глубокого понимания процесса образования звезд и звездных систем мы не должны ограничиваться знанием лишь классической механики, а должны заглянуть и в другие области физики, включая ядерную физику.

Огромная энергия, излучаемая звездами, образуется в результате ядерных процессов, происходящих внутри звезд. Те же силы, которые высвобождаются при взрыве водородной бомбы, образуют внутри звезды энергию, позволяющую ей излучать свет и тепло в течение миллионов и миллиардов лет. Поэтому знание ядерной физики жизненно необходимо для понимания развития Вселенной.

Ядерная физика также может помочь нам ответить на увлекательнейший вопрос о происхождении различных элементов. Вполне возможно, что когда-то элементы синтезировались из протонов и нейтронов, и сейчас существует много догадок о том, когда, как и где происходил этот синтез. Может быть, он был результатом гигантских звездных взрывов (образование сверхновых звезд), которые мы время от времени наблюдаем, или, возможно, синтез происходил на ранней стадии развития Вселенной.

Мы можем предположить, что Солнце образовалось именно так, как мы это описали в предыдущем параграфе. Масса газа размерами, в сотни или тысячи раз превышающими размеры нашей нынешней Солнечной системы, начала сгущаться, и под влиянием силы притяжения большая часть массы уплотнилась, образуя Солнце. Тепло, выделившееся в результате этого процесса, подняло температуру внутри Солнца до десятков миллионов градусов. Когда температура достигла определенного предела, зажглась огромная раскаленная солнечная печь и начала высвобождать ядерную энергию («термоядерную энергию»). Солнце содержит достаточно водорода для того, чтобы эта печь горела миллиарды лет, щедро излучая в пространство тепло и свет.

Если бы астроном с планеты, вращающейся вокруг далекой звезды, наблюдал за Солнцем и его окружением, то почти все, сказанное выше, показалось бы ему заслуживающим внимания. По-видимому, ему не легко было бы заметить ту деталь, что вокруг Солнца вращаются планеты, а также несколько тысяч астероидов. Еще менее вероятно, что он заметил бы, что вокруг многих планет, в свою очередь, вращаются спутники. Но для тех, кто

населяет одну из этих планет, все эти детали далеко небезынтересны.

Как возникли планеты и их спутники? Это один из наиболее увлекательных вопросов классической астрофизики. Дискуссия по этому вопросу была открыта французом Лапласом несколько веков назад. Лаплас предположил, что при конденсации Солнца в результате его вращения от солнечного экватора отделилось несколько колец, из которых впоследствии и образовались планеты. Против этой теории (широко известной как теория Канта—Лапласа) было выдвинуто много веских возражений. И когда последующие расчеты показали, что отрыв колец, описанный Лапласом, произойти не мог, было сделано несколько попыток совершенно по-другому объяснить происхождение Солнечной системы. Одной из них была теория столкновения, выдвинутая несколько десятков лет назад английскими астрономами Джинсом, Джеффрисом и другими. Они предположили, что когда-то Солнце столкнулось с другой звездой, в результате чего из Солнца была вырвана струя газа, которая, сгущаясь, преобразовалась впоследствии в планеты. Однако учитывая огромные расстояния между звездами, такое столкновение кажется совершенно невероятным. Более детальный анализ показал и другие недостатки этой теории. Прежде всего, учитывая закономерности строения Солнечной системы, кажется невозможным, чтобы планеты были лишь осколками, оставшимися после космической катастрофы. К тому же наиболее крупные планеты — Юпитер, Сатурн и Уран — окружены спутниками, образуя очень правильную систему того же общего типа, что и система планет. Это открытие заставило бы нас сделать еще более нелогичное предположение, что и эти тела также образовались в результате столкновений.

Вполне вероятно, что тот же самый процесс, в результате которого после образования Солнца возникли планеты, затем повторился в «миниатюре», образуя спутников наибольших планет. Другими словами, каждое большое астрономическое тело стремится окружить себя меньшими телами: Солнце окружило себя системой планет, а самые крупные планеты — системой спутников. Этот вывод возвращает нас к концепции, схожей с теорией Лапласа, хотя мы вновь сталкиваемся и со слабостями, присущими этой теории. Движение планет и их спутников в пределах Солнечной системы происходит почти исключительно по законам классической механики. И теория Лапласа, и вытекающие из нее концепции опираются на убеждение, что и в период формирования Солнечной системы решающее значение принадлежало лишь механическим силам. Возможно, что это предположение и есть источник всех слабостей этих теорий. Мы выяснили, что во время образования Солнечной системы вещество вокруг Солнца находилось в газообразном состоянии и что газ был ионизирован, следовательно, мог проводить электричество. Согласно нашим современным представлениям о свойствах ионизированного газа (плазмы) он подвержен сильному влиянию электромагнитных сил. Поэтому очень вероятно, что именно электромагнитные силы сыграли решающую роль при зарождении Солнечной системы.

Если использовать это предположение как отправную точку, мы увидим теорию Лапласа в совершенно ином свете, и в результате мы можем представить себе происхождение Солнечной си-

стемы примерно следующим образом. После того как из огромного газового облака посредством концентрации образовалось Солнце, на очень большом расстоянии от него оставались небольшие части этого газового облака. Гравитационная сила стала притягивать остатки газа к вновь образованной звезде; но магнитное поле Солнца остановило падающий газ на различных расстояниях от Солнца — как раз на нужном расстоянии, где теперь находятся планеты. Гравитационная и магнитная силы, таким образом, повлияли на концентрацию и сгущение падающего газа, в результате чего образовались планеты. Когда возникли самые крупные планеты, тот же процесс повторился в меньших масштабах, создав, таким образом, системы спутников. Итак, планета, на которой мы обитаем, была создана двумя «творцами»: гравитацией, которая притягивала вещество к пылающему Солнцу, и электромагнетизмом, который остановил его на нужном расстоянии в пространстве. Те же первобытные силы создали также на одной из этих планет условия, которые позволяют нам существовать на ней — горы, воду и воздух.

Луна — ближайший космический сосед Земли. Пытаясь определить, как она возникла, мы должны прежде всего спросить, а могла ли она быть создана так же, как и луны трех крупнейших планет — Юпитера, Сатурна и Урана: т. е. в результате астрофизического процесса, описанного в предыдущем параграфе. Ответ вполне определенный — нет, потому что Земля слишком мала, а Луна слишком велика для этого. Самый крупный из спутников Юпитера, например, равен одной десятитысячной массы Юпитера, в то время как масса Луны составляет более одной сотой массы Земли. Процесс, в результате которого гигантские планеты приобрели спутников, вероятно, не может произойти вокруг таких малых тел, как Земля. Следовательно, Землю и Луну нельзя рассматривать как планету и ее спутника, скорее их можно считать планетами-двойниками, хотя они и не равны по массе.

Наши знания о приливах оказались весьма важными для понимания истории Луны. Дважды в день Луна заставляет океанские воды подниматься, а затем вновь опускаться. Но, согласно закону о действии и противодействии, приливы и отливы также должны отражаться на Луне и изменять ее орбиту. Этот эффект очень мал, но с течением миллионов лет приливы заставляют Луну удаляться от Земли, в то же время замедляя вращение Земли вокруг своей оси. Таким образом, сутки удлиняются — однако всего лишь на несколько тысячных секунды в столетие.

Если Луна сейчас удаляется от Земли, то в прошлом она, совершенно очевидно, была ближе к ней. Вполне вероятно и то, что в очень отдаленные времена, около миллиарда лет назад, Луна находилась в непосредственной близости от Земли. Не была ли Луна в один прекрасный момент извергнута из земных недр, и, в таком случае, русские и американцы не были ли первыми, кто запустил в космос свои миниатюрные луны?

Около ста лет тому назад английский астроном Дарвин выдвинул гипотезу, согласно которой до появления Луны Солнце вызывало на Земле огромные приливные волны. Эти волны достигли таких чудовищных размеров, что значительная часть Земли оторвалась от нее и позднее превратилась в Луну. Со временем эта гипотеза была дополнена предположением, что после отделения Лу-

ны на Земле осталась впадина, которую мы называем Тихий океан.

Хотя эта гипотеза широко распространена в трудах безответственных популяризаторов, ее давным-давно опровергли, и профессиональные астрономы просто не принимают ее всерьез.

Мы уже давно совершенно уверены в том, что Луна никоим образом не могла быть извергнута Землей, так как на отделение такой большой массы потребовалась бы необыкновенно большая затрата энергии. Но если мы рассчитаем изменения, которые произошли в лунной орбите, то приходим к выводу, что когда-то Луна, по всей вероятности, находилась очень близко от Земли. Откуда же она тогда взялась?

Чтобы ответить на этот вопрос, давайте рассмотрим четыре ближайшие к Солнцу планеты — Меркурий, Венеру, Землю и Марс. На первый взгляд они образуют однородную семью малых планет в отличие от больших планет — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Но если мы внимательнее изучим малые планеты, мы увидим, что Марс отличается от остальных трех планет. Во-первых, можно было бы ожидать, что четвертая планета этого семейства будет гораздо больше Земли; но масса Марса составляет лишь одну десятую земной. Более того, плотность Марса 4,1, в то время как плотность остальных трех планет колеблется между 5 и 6. Оглядываясь вокруг в поисках близких родственников Марса, мы убеждаемся, что больше всего для этой роли подходит Луна. Подобно Марсу, у Луны низкая плотность (3,3), и ее масса, составляющая примерно одну десятую массы Марса, как раз соответствовала бы массе планеты, вращающейся между Марсом и Землей. В результате считают, что Луна могла образоваться как планета в то же самое время, что и Марс, и что она двигалась по орбите, которая случайно сильно приблизила ее к Земле. Земля же образовалась независимо как от Марса, так и от Луны, и фактически является членом семейства трех планет — Меркурия, Венеры и Земли.

На этом основании вполне разумно заключить, что Земля случайно захватила Луну, превратив ее из независимой планеты в своего спутника. Однако, несмотря на привлекательность этой теории, возникает существенная трудность: если Луна действительно была захвачена, она должна была вращаться по отдаленной орбите вокруг Земли, так как любое захваченное тело всегда вращается на большем расстоянии от Земли; однако расчеты приливов указывают, что в древнейшие времена Луна находилась на очень близком расстоянии от Земли.

Мы можем разрешить эту трудность, изучая расчеты, связанные с приливами и отливами, сделанные немецким астрономом Герштенкорном. С величайшей точностью он вычислил изменения, которые произошли с лунной орбитой. Сейчас Луна вращается вокруг Земли на расстоянии, равном шестидесяти земным радиусам, и направление ее движения совпадает с направлением земного вращения. Ее орбита наклонена под углом в 23 градуса к плоскости земного экватора. Герштенкорн доказал, что около миллиарда лет назад Луна находилась на гораздо более близком расстоянии от Земли, но он также вычислил, что в то время лунная орбита была наклонена к плоскости экватора под еще большим углом. В еще более ранний период угол наклона лунной орбиты был настолько

велик, что Луна вращалась непосредственно над земными полюсами, а еще дальше в глубину веков Луна вращалась в направлении, противоположном земному вращению, и эффект приливов действовал в направлении, противоположном современному. Поэтому когда Герштенкорн продолжил свои вычисления еще дальше в прошлое, он нашел, что однажды Луна, должно быть, двигалась на таком далеком расстоянии от Земли, что являлась независимой планетой.

Возможно, что эта теория дала нам не только решение вопроса о древней истории Луны, но явилась ключом к решению ряда других проблем. Сухие строки математических формул поведали нам о серии катастроф и драматических событий, происшедших с Землей и Луной в древности.

Луна, первоначально независимая планета, движущаяся вблизи земной орбиты, случайно настолько приблизилась к Земле, что была захвачена ею и стала вращаться вокруг Земли, сойдя с околосолнечной орбиты. Но вследствие того, что ее орбита была ретроградной, т. е. она двигалась в направлении, обратном земному вращению, явление приливов также проявлялось в направлении, обратном нынешнему. Лунная орбита все время уменьшалась в радиусе, но в то же время возрастал ее угол наклона к плоскости земного экватора. В конце концов Луна стала вращаться непосредственно над земными полюсами. В это время Луна находилась на расстоянии всего около трех земных радиусов от Земли, и ее орбита продолжала уменьшаться.

Окажись в то время на Земле люди, наблюдающие за Луной и ее изменениями, они бы сначала видели ее светящейся в виде планеты, очень похожей на современную Венеру или Юпитер. Будучи захваченной, Луна бы выглядела примерно так же, как сейчас. Но с течением миллионов лет наблюдатель бы видел, как она растет по мере своего приближения к Земле, пока, наконец, она не выглядела бы диском, диаметром в 20 раз больше, чем диаметр полной Луны, видимой сейчас. С приближением Луны к Земле возрастает и сила приливов, и когда Луна оказалась в ближайшей точке от Земли, высота приливной волны достигала свыше полутора километров. И если Луна была причиной мощных приливов на Земле, то приливный эффект массивной Земли на маленькую Луну был гораздо больше. Влияние земного притяжения на лунную поверхность стало так велико, что оно фактически превосходило притяжение самой Луны. Уже давно известно, что именно это и происходит, как только спутник начинает вращаться внутри так называемого предела Роша, который равен примерно 2,9 земного радиуса.

Согласно расчетам Герштенкорна, Луна вошла в пределы Роша, когда она начала разрушаться. Обломки различных размеров величиной с камни или гравий были подняты земной силой притяжения с лунной поверхности и заполнили все космическое пространство вокруг Земли и Луны. Но когда Луна вошла в предел Роша, она максимально приблизилась к Земле и начала медленно удаляться. Часть лунных осколков, возможно, упала на Землю. Другая часть постепенно падала снова на Луну, и вполне возможно, что лунные кратеры возникли именно таким путем. Нам хорошо известно, что изрезанная шрамами современная поверхность Луны — результат жесткого столкновения с превосходящей силой земного притяжения. Но стоило Луне удалиться за предел Роша, как ее един-

ственным значительным изменением было увеличение расстояния от Земли, как результат действия приливов.

А как эта катастрофическая схватка отразилась на Земле? Огромная приливная волна, длительное время распространявшаяся по Земле, по-видимому, тщательно «отполировала» Землю. Впоследствии некоторые лунные осколки упали на Землю, но мы не можем определить, как велико было их количество: возможно, их число было незначительным, и искать их остатки просто бесполезно. Теория Герштенкорна вызвала большую дискуссию, и геологи до сих пор пытаются найти следы подобных событий в геологической истории Земли. Свидетельство геологической катастрофы, происшедшей 700 миллионов лет назад, дает основания предполагать, что в то время Луна подошла на самое близкое расстояние к Земле. Однако потребуются еще целый ряд исследований, прежде чем мы сможем подтвердить теорию Герштенкорна и с точностью восстановить историю.

Одинок ли мы во Вселенной?

Создание искусственных спутников и исследование глубин космоса еще более усилили интерес человека к извечному вопросу возможности существования жизни в других мирах Вселенной. В пределах нашей Солнечной системы Марс, по-видимому, является единственной планетой, на которой также, возможно, существуют условия для органической жизни. Но так как климат тундры Северной Сибири и пиков Гималаев по сравнению с климатом Марса покажется мягким, с трудом верится, что органическая жизнь, если она там вообще существует, смогла достичь более высокого уровня развития. «Марсиане» пока существуют лишь в научно-фантастических романах.

Однако хотя возможность существования в Солнечной системе существ с цивилизацией, в какой-то мере напоминающей нашу, весьма маловероятна, мы не можем исключать возможности существования подобной цивилизации на планете, обращающейся вокруг какой-либо другой звезды. Конечно, это может показаться не более чем свободным размышлением, однако размышлением далеко не безынтересным.

В основе этой проблемы лежит вопрос: окружены ли другие звезды планетами? Мы не можем дать определенный ответ на этот вопрос. Чтобы показать, насколько сложно дать точный ответ, давайте представим модель нашей Солнечной системы, где Солнцем будет апельсин, а Землей — песчинка, расположенная в 9 м от него. Тогда расстояние между этим апельсином и апельсином, изображающим ближайшую звезду, равно расстоянию между Францией и Нью-Йорком. Определить, окружена ли звезда планетами, так же трудно, как рассмотреть темную песчинку, лежащую в 9 м от апельсина во Франции, с наблюдательного пункта в Нью-Йорке — задание невыполнимое даже с помощью лучших астрономических инструментов.

Мнения о существовании других солнечных систем менялись соответственно с изменением концепций о происхождении нашей собственной Солнечной системы. Вспомните, что сторонники теории столкновений считали, что наша Солнечная система возникла в результате столкновения Солнца с другой звездой несколько миллиардов лет назад. Однако поскольку вероятность столкновения двух звезд так же мала, как и вероятность столкновения апельсина,

брошенного в произвольном направлении из Нью-Йорка, с апельсином во Франции, можно сделать вывод, что при всей вероятности лишь несколько из сотен миллиардов звезд нашей Галактики смогли бы столкнуться подобным образом. Таким образом, когда преобладала теория столкновений, думали, что число солнечных систем, подобных нашей, должно быть весьма незначительным, да и те немногие существуют в совершенно различных частях Галактики.

Затем теория столкновений уступила место более вероятным предположениям, что наша Солнечная система явилась результатом процесса, непосредственно связанного с происхождением Солнца. И хотя мы все еще далеки от полного согласия в вопросе о происхождении Солнечной системы, господствующее предположение заключается в том, что это результат не исключительного небесного явления, а совершенно обычного процесса, связанного с образованием звезды. Из этого следует, что многие звезды — возможно, большинство из них — могут быть окружены планетами с приблизительно такими же характеристиками, как и у планет, вращающихся вокруг нашего Солнца. Это означает, что весьма вероятно, где-то находится планета, обладающая физическими и химическими характеристиками, сходными с земными, и вращающаяся вокруг звезды, сходной по размерам с Солнцем.

Следующий вопрос: возможно ли появление органической жизни в какой-либо форме на такой планете. Учение Аррениуса о возможности распространения жизни через пространство при помощи «спор» не находит многочисленных последователей. Скорее (как мы показали выше), общепризнано — как предположили русский ученый Опарин и другие, — что простейшие живые системы на Земле возникли в результате формирования сложнейших углеродных соединений из неорганического вещества под влиянием солнечной радиации и других явлений. Согласно этой точке зрения происхождение жизни было совершенно естественным явлением в условиях, которые существовали на Земле несколько миллиардов лет назад, когда появились простейшие живые существа. Более того, нельзя считать невероятным то, что жизнь, возможно, зародилась в условиях, сходных с условиями, существующими на Марсе, и вполне вероятно, что жизнь существует на планете, вращающейся вокруг другой звезды при условии, что и физическая и химическая структура схожа с земной.

Если эти теории верны, можно предположить, что из сотен миллиардов звезд нашей Галактики несколько миллиардов — или по крайней мере несколько десятков или сотен миллионов звезд — окружены планетами, населенными живыми организмами. Шло ли развитие жизни на одной из этих планет по пути, сходному с земным? Действовала ли длинная цепь усложнений таким же образом? Возникло ли в результате существо, похожее на человека? А если так, то сможем ли мы вступить в контакт с этими существами?

Благодаря развитию ракетостроения мы можем строить космические корабли, способные достичь Марса, и в недалеком будущем мы надеемся установить, действительно ли существует там жизнь. В настоящее время это не представляется вероятным. Венера же, без сомнения, необитаема. Не за горами то время, когда станут возможными путешествия и к другим планетам нашей Солнечной

системы, но надежда найти более высокие формы жизни в пределах нашей Солнечной системы очень мала. Путешествие к планете, подобной Земле и находящейся в другой солнечной системе, является настолько сложным из-за необходимости покрыть колоссальные расстояния, что мы пока не видим путей его осуществления. Космическому кораблю, посланному за пределы нашей Солнечной системы со скоростью современных спутников или космических зондов, потребуется около 100 000 лет, чтобы достичь ближайшей звезды. И если бы даже скорость могла быть увеличена в 100 раз — что явилось бы огромным техническим достижением — такое путешествие заняло бы тысячу лет. Следовательно, применение современных средств не дает нам возможности для запуска автоматического космонавта с целью исследования космоса вокруг ближайших звезд.

Установить существование жизни на планетах и удаленных солнечных систем можно лишь в том случае, если эволюция привела там к возникновению мыслящих существ, обладающих высокоскоростными радиосвязью и ракетостроением. Теоретически возможно, что до нас могут дойти слышимые сигналы радиопередатчика, расположенного на планете из другой солнечной системы в нашей части Вселенной. Такой передатчик должен был бы обладать большой мощностью, однако достаточной лишь для того, чтобы радиолуч был нацелен непосредственно на нашу Солнечную систему. Если выдвинуты предположения о том, какую длину волны выбрали бы эти воображаемые существа и какого рода сигналы они послали бы, если бы верили, что мы существуем и обладаем достаточно развитой радиосвязью, чтобы принять их сигналы. Если бы мы действительно приняли такие сигналы и построили гигантский радиопередатчик, чтобы отвечать на них, можно было бы осуществить двустороннюю связь, хотя это довольно сложно. Так как радиоволны распространяются со скоростью света, то сигналам потребовалось бы 4 года, чтобы достичь ближайшей звезды. Таким образом, прошло бы не менее 8 лет, прежде чем мы получили бы ответ на телеграмму, посланную на планету, вращающуюся вокруг этой звезды. Однако весьма маловероятно, чтобы наши ближайшие соседи были бы готовы вступить с нами в контакт. Более вероятной представляется связь через расстояние, скажем, в 100 световых лет; тогда ответа нам пришлось бы ждать 200 лет. Если бы в результате высочайшей степени развития интеллекта мы смогли расшифровать принятые сигналы, то мог произойти интереснейший обмен информацией.

Другая возможность контакта возникла бы в том случае, если обитатели далекой планеты настолько продвинулись в ракетостроении, что смогли бы послать космического связного, с которым бы мы общались на близком расстоянии. Подобные рассуждения легли в основу историй о «летающих тарелках».

Но так как мы еще ни разу не слышали радиосигналов с далеких планет и не обнаруживали кораблей, посланных с них, у нас нет совершенно никаких доказательств, что такая удаленная цивилизация существует. На вопрос, можно ли верить в ее существование, должны ответить биологи, социологи и историки. Если мы предположим, что в нашей Галактике много планет, пригодных для жизни, какова вероятность 1) появления на них жизни и 2) ее развития по пути возникновения такого сложного организма, как

человек? На этот вопрос не ответит ни один биолог. На него, возможно, прольет свет детальное изучение биологического развития. Неужели чистая случайность решала возникновение каждой новой ступени этого развития: появление простейших живых агрегатов, клеток, многоклеточных существ, их все более усложняющихся потомков и, наконец, человека? Или биологическое развитие двигалось по единственно возможному правильному пути? И после того как развился человек и возникли его сообщества, когда становятся необходимыми наука и техника, позволяющие человеку измерять расстояния до звезд и мечтать об их покорении? Было ли это целью случайностей, настолько неповторимых, что, по всей вероятности, это могло случиться лишь в единственном месте, а именно — на Земле и больше нигде во всей Галактике? Мы еще не обладаем достаточными знаниями о путях развития и жизни общества, чтобы определить, единственные ли мы во Вселенной.

Предположение, что когда-нибудь мы сможем вступить в контакт с разумными существами на других астрономических телах, настолько заманчиво, что его трудно оставить без внимания. Наверняка мы еще не раз увидим в прессе сообщения о радиосигналах и «тарелках» издалека, но вероятность их правдивости очень мала. Если даже удаленные цивилизации все-таки существуют, препятствия для установления связи с ними настолько велики, что в ближайшем будущем описания жизни далеких миров можно ожидать лишь от писателей, наделенных богатым воображением.

Естественная наука и история

На протяжении последних десятилетий происходит необыкновенно стремительное развитие естественной науки и техники. Меньше чем за четверть столетия человечество вступило сразу в несколько новых «веков»: в атомный век, который совершил переворот в военной науке и мировой политике; в век вычислительных машин, который начал организованную революцию внутри общества; и — пожалуй, в самый значительный — космический век, который позволил человеку впервые в его истории покинуть Землю. По сравнению с медленным развитием в течение предыдущих пятидесяти или более веков, о которых мы имеем некоторые исторические сведения, развитие, происшедшее в XX веке, и особенно за последние 25 лет, кажется поистине стремительным. Многие люди, далекие от техники и считающие прежнюю скорость развития единственно нормальной для человеческого общества, обеспокоены, а возможно, и возмущены быстрыми темпами, предложенными естественной наукой и техникой.

Но естественная наука дает также совершенно новый взгляд на такой темп развития, а именно глубокий всесторонний взгляд на человека и его культуру в свете геологической и космологической перспектив. В этих научных областях длительность явления измеряется не годами, не десятилетиями, не веками — здесь оперируют миллионами или миллиардами лет. Интересно попытаться представить развитие человечества как его постепенную историческую

эволюцию, так и быстрый прогресс, происходящий сейчас в геолого-космологическом плане. Поначалу человеческому уму трудно охватить такие огромные периоды времени, какими манипулируют в этих областях науки. Хотя мы и рассуждаем о миллионах и миллиардах лет, лишь немногие из нас действительно имеют представление о том, что это значит. Тысяча лет — это большой отрезок времени, миллион лет, конечно, больше, а миллиард лет еще больше, но соотношения этих периодов времени лежат за пределами каждодневной человеческой практики.

Давайте поэтому будем пользоваться уменьшенной шкалой времени, чтобы сопоставить человеческое развитие с геологическим развитием: допустим, что одна секунда соответствует столетию. В таком случае Земля образовалась в результате космогонических процессов что-то более года назад. Жизнь на Земле появилась несколько месяцев назад. Переход от обезьяны к человеку закончился час или два часа тому назад. Так как история утверждает, что развитие человеческой культуры происходит в течение последних шести тысяч лет, то на нашей уменьшенной шкале времени человеческая история началась минуту назад. Промышленная революция произошла в течение последней секунды, а атомный век, космический век и век вычислительных машин — в последние десяти доли этой последней секунды.

В вековом историческом развитии Земли, таким образом, «минута», которую мы прожили, является чем-то чрезвычайно динамичным и выдающимся. С космолого-геологической точки зрения все развитие человеческой истории произошло на бешеной скорости. Переход от времен примитивного сельского хозяйства к нашему времени можно уподобить взрыву. Все, описанное историей, произошло за последнюю минуту годового существования Земли. Мы могли бы спросить, происходило ли на Земле что-либо подобное драматической истории человечества прежде?

Можно себе представить, что однажды или дважды уже происходили подобные быстрые перемены. Например, быстрые геологические изменения, происшедшие, по всей видимости, в результате огромных приливных волн, причиной которых, согласно некоторым подсчетам, была непосредственная близость Луны. Но эта тема лежит за пределами нашей дискуссии. Другое, более важное событие, которое также могло произойти единым взрывом, подобно человеческой истории, это появление жизни. В момент образования Земля была стерильной. С течением многих сотен и миллиардов лет на ней появлялись все более сложные химические соединения. Наконец молекулярные соединения достигли такой степени сложности, когда они смогли воспроизводить себя и расти, получая пищу из окружающей среды. Возможно, что это повлекло за собой очень быстрое развитие. Если бы первые организмы обладали такой же огромной силой воспроизведения, что и современные микроорганизмы, они смогли бы распространиться по всей Земле за очень короткое время. Возможно, что их способность воспроизведения была меньше, тем не менее за короткое время, возможно, за «минуты» на нашей уменьшенной шкале, примитивная жизнь овладела той частью планеты, которая могла бы приютить жизнь, вероятно, в основном это были моря. После того как на Земле взрывообразно появилась жизнь, развитие стало проходить постепенно. Процессы дифференциации и отбора, происшедшие в последующие

геологические эры, дали возрастающее количество видов, пока не появился человек, положивший начало новой и драматической эре на Земле.

Теперь возникает вопрос о следующей ступени нашего развития. Что произойдет в следующую «секунду», следующую «мину-ту», «час»?

Главной чертой нашего века является заметный рост человеческих знаний и мастерства. За короткий период времени — скажем, несколько секунд на нашей уменьшенной шкале времени — современные быстро развивающиеся науки и техника позволят нам исполнить многие желания. Развитие средств связи заставило планету уменьшиться; некоторые даже утверждают, что ее размер настолько сократился, что она становится слишком мала для человеческой техники. Несомненно, наука и техника все быстрее и быстрее изменяют облик Земли. Ее естественные ресурсы расходуются, а некоторые даже истощаются. Воздух и вода постоянно загрязняются, а в арсеналах сверхдержав сейчас достаточно атомных бомб, чтобы загрязнить всю планету. Скоро станет возможным изменять климат. С начала промышленной революции состав воздуха заметно изменился, и он может подвергнуться дальнейшим изменениям. Таким образом, легко поверить, что Земля действительно становится слишком мала для науки и техники будущего.

В результате начало космического века может стать важнейшим событием, происшедшим в человеческой истории (за исключением, возможно, лишь начала века вычислительных машин). Теперь человечество может покинуть Землю, ставшую слишком маленькой, чтобы удовлетворить человеческую потребность созидания, и он может выйти в окружающий космос. Вопрос в том, что заставит его сделать это?

С того времени как запуск первых космических спутников открыл нам новые горизонты, все исследования были направлены на нахождение необходимых условий для космического полета, а также на изучение электромагнитных условий непосредственно окружающего нас пространства. Сейчас космонавты высаживаются на Луну, и астрономы готовятся перенести свои обсерватории с Земли на космические корабли и на Луну, где можно работать без атмосферных помех. Несколько космических станций уже достигло Венеры и Марса и провело ряд наблюдений за этими планетами. Но каковы возможности дальнейших космических исследований? Что произойдет в следующие «секунды» и «минуты»?

Ответ на это во многом зависит от того, до каких пределов человек способен развить свою фантазию и деятельность. Если они будут ограничены политическими условиями, то нельзя ожидать больших успехов в области освоения космоса. Техника бурно развивается, и ей уже стало невыносимо тесно на нашей маленькой планете. Это яркий пример того, какой разрушительный потенциал может иметь такая могущественная сила, если пытаться втиснуть ее в прокрустово ложе. Катастрофы, пожалуй, можно избежать, если только человеку хватит прозорливости и воображения, чтобы вынести технику, а с ней и себя самого в космос.

Каковы же возможности использования и «колонизации» космоса? Среди ближайших к нам астрономических тел Луна не является лучшей возможностью для заселения из-за отсутствия ат-

мосферы и очень сурового климата. Атмосфера Марса слишком разрежена для поддержания жизни человека. Атмосфера Венеры слишком плотная, и по своему химическому составу она в настоящее время пригодна для жизни человека не больше чем атмосфера Марса.

Но заметьте, в настоящее время. В те времена, когда на Земле появилась жизнь, наша планета тоже была «непригодна для жизни». Ее атмосфера, очевидно, походила на атмосферу, окружающую Венеру сегодня. По всей вероятности, она в основном состояла из углекислого газа, и так как в ней находилось очень мало кислорода, в ней не могли существовать «высшие» формы жизни. Но само появление жизни изменило условия жизни на Земле. Земля стала обитаемой для высших форм жизни лишь благодаря способности примитивных форм изменять земные условия. Это изменение явилось одним из важнейших результатов первого взрыва в истории жизни — появление самой жизни. Каков же будет результат второго взрыва — бурного развития техники?

Мы знаем, что формы жизни стали быстро множиться с момента появления молекулярных соединений достаточной степени сложности. Сейчас люди научились сотрудничать друг с другом и с машинами, которые они сами создали. Вторжение электронно-вычислительных машин в общество имеет решающее значение. Технический взрыв изменяет всю планету, делая ее более обитаемой в одних отношениях и менее обитаемой в других. Если техника, таким образом, может революционизировать одну планету, Землю, то она вскоре сможет изменить и другие. Хотя Марс и Венера сейчас непригодны для жизни, одной из задач развивающейся техники будет сделать их обитаемыми. Наши предки — микроорганизмы преобразовали Землю. Так почему же мы не сможем превратить — возможно, с помощью тех же микроорганизмов — соседние планеты, в удобное местожительство для растущей человеческой расы?

Возможно, это одно из событий, которые произойдут в недалеком будущем. «Секунды», которые мы сейчас переживаем, это подготовка к «минутам», а может быть, и «часам», в течение которых жизнь, появившаяся на Земле, начнет свое распространение в космос.

10 коп.

Индекс 70101