

Д. Бом ПРИЧИННОСТЬ И СЛУЧАЙНОСТЬ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

Д. Бом

ПРИЧИННОСТЬ
И
СЛУЧАЙНОСТЬ
В
СОВРЕМЕННОЙ
ФИЗИКЕ

И * Л

*Издательство
иностранной
литературы*

*

David Bohm

**CAUSALITY AND CHANGE
IN MODERN PHYSICS**

*Foreword by
Louis de Broglie*

L o n d o n, 1 9 5 7.

Д. Б о м

**ПРИЧИННОСТЬ
и
СЛУЧАЙНОСТЬ
в
СОВРЕМЕННОЙ
ФИЗИКЕ**

Перевод с английского

С. Ф. ШУШУРНА

Общая редакция и предисловие профессора

Я. П. ТЕРЛЕЦКОГО

И з д а т е л ь с т в о
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1959

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Эта книга, написанная известным американским физиком Давидом Бомом, посвящена наиболее актуальным философским проблемам современной физики.¹ Основное внимание в ней уделяется выяснению той роли, которую играют причинность и случайность в физических закономерностях микромира. Этот вопрос рассматривается в самом широком плане и фактически решается Бомом на уровне более общей проблемы о возможных формах физических законов как микромира, так и макромира.

В отличие от более ранних исследований этих философско-физических проблем² книга Бома отражает развернувшуюся в последние годы ожесточенную борьбу между сторонниками новых интерпретаций явлений микромира и защитниками ортодоксального истолкования квантовой механики в духе принципа дополнительности. Книга представляет не только развернутую критику философских и физических позиций копенгагенской школы, но и ответ сторонника каузальной интерпретации квантовой теории на возражения приверженцев концепции дополнительности.

Гейзенберг³ и другие приверженцы копенгагенской интерпретации критикуют главным образом философские позиции своих противников и пытаются доказать, что материалистическая позиция сторонников новых интерпретаций якобы тождественна механицизму в его

¹ Несколько лет назад Д. Бом был вынужден покинуть США и работал в Бразилии и Израиле, а в настоящее время работает в Англии.

² См. Я. П. Терлецкий, Динамические и статистические законы физики, Изд. МГУ, 1949.

³ Статья В. Гейзенберга в сборнике «Нильс Бор и развитие физики», ИЛ, М., 1958.

крайней форме лапласовского детерминизма. Бом убедительно доказывает, что подобная критика не имеет оснований. Он подробно, в философском и историческом аспекте анализирует и критикует позиции механицизма, а также возникшую в XX веке и укрепившуюся на базе копенгагенской интерпретации противоположную концепцию индетерминизма микроявлений. Бом доказывает, что последняя концепция тождественна «индетерминистическому механицизму», то есть худшей форме механицизма. В то же время он указывает на возможность иной, более общей интерпретации микроявлений, отрицающей как лапласовский, так и индетерминистический механицизм. Этой точки зрения и придерживаются, как правило, ученые, выступающие с критикой концепции дополнителности.

Более общей точкой зрения, отрицающей любую форму механицизма, является материалистическая концепция неисчерпаемости материального мира. Развивая эту концепцию, Бом приходит к теории уровней (механического, квантовомеханического, субквантового и т. д.) в познании физических явлений материального мира. Согласно этой теории, ни чисто детерминистическая, ни индетерминистическая картина физической реальности не может претендовать на абсолютное значение, поэтому исторически не обосновано убеждение сторонников принципа дополнителности в том, что при дальнейшем углублении наших знаний исключена какая-либо детерминистическая картина явлений микромира и якобы возможны только вероятностные теории, еще менее наглядные, чем квантовая механика. Таким образом, при переходе на субквантовый уровень не только возможна, но и весьма вероятна физическая теория детерминистического типа, в которой входящие в теорию величины представляются непосредственно и полно (конечно, полно на данном уровне) отражающими реальность, а не показаниями макроскопических приборов, лишь косвенно и принципиально статистически описывающими микрообъекты.

Бом подробно останавливается на развитом им варианте дебройлевской интерпретации квантовой механики, а также на последних вариантах нелинейной теории поля, предлагаемых де Бройлем, Вижье и другими авторами. Отмечая, что попытки создания теории суб-

квантового уровня еще не завершены и теория находится в процессе становления, Бом показывает, что тот черновой вариант теории, который уже создан, не только объясняет с новых детерминистических позиций все факты, объясняемые традиционной квантовой механикой, но и позволяет наметить черты теории явлений в областях размером 10^{-13} см.

Необходимо отметить, что нелинейная теория субквантового поля, развиваемая Вижье, Бомом, Такабаяси и др. под идейным руководством де Бройля, а также советскими физиками, за время, прошедшее после английского издания книги Боба, привела к новым успехам. Так, например, Вижье и его сотрудникам¹ удалось показать, что в нелинейной теории спинорного поля содержится естественная систематика элементарных частиц, над объяснением которой сейчас работают многие крупнейшие физики. В Московском университете начаты конкретные расчеты структуры элементарных частиц. При этом удалось доказать, что в нелинейной теории субквантового поля спектр масс элементарных частиц получается ограниченным, как это следует из эксперимента. Этот результат не получался в известных попытках построения общей теории элементарных частиц, исходящих из традиционной квантовой теории.

Характерно, что некоторые успехи новой теории элементарных частиц, предложенной недавно Гейзенбергом, получены им на пути применения представлений школы де Бройля. В основу новой теории Гейзенберг положил представление о едином материальном, спинорном поле, подчиняющемся нелинейному уравнению. Конечно, Гейзенберг как идейный противник каузальной интерпретации строил свою теорию в духе ортодоксальной теории вторичного квантования, однако он был вынужден несколько изменить стандартные правила квантования в направлении отказа от обычных квантовых представлений.

Основным в книге Боба являются, однако, философские вопросы физики. Развивая общие философские положения о неисчерпаемости материального мира, о взаимосвязи причинных и случайных закономерностей

¹ P. Hillion, G. Lochak, J. P. Vigiер, *Compt. rend. de l'Acad. des sciences*, t 246, 1958.

и т. д., Бом фактически излагает некоторые основные положения философии диалектического материализма, хотя прямо об этом и не говорит. Правда, в отдельных пунктах многие философы-марксисты могут и не согласиться с Бомом. Так изложение Бомом вопроса об абсолютной и относительной истине, как и некоторых других вопросов, несколько непоследовательно, потому что абсолютной истине отводится роль никогда не достижимого идеала. С этим связаны сомнения Боба в отношении возможности существования абсолютных законов природы. Продолжая же эту мысль, можно прийти к отрицанию даже таких всеобщих законов природы, как законы сохранения материи и движения.

В целом книга Боба представляет большой интерес как для физиков, так и для философов. Эта книга, как отмечает в своем предисловии Луи де Бройль, представляет читателю богатый для размышлений материал, особенно важный в период крутой ломки физических представлений, неизбежной при переходе на новый уровень познания явлений микромира.

Книга Боба представляет особый интерес для советских ученых. Дискуссии, приведшие к развитию и распространению за рубежом каузальной интерпретации квантовой теории, были начаты в Советском Союзе в 1948 году. Эти дискуссии не закончены и сейчас. Различные советские ученые по-разному оценивают копенгагенскую интерпретацию квантовой механики. Много сторонников имеет у нас даже мнение, что копенгагенская интерпретация — единственно правильная и что необходимо лишь перестроить ее терминологически, заменив некоторые явно позитивистские и идеалистические утверждения более приемлемыми с точки зрения диалектического материализма, а с другой стороны, необходимо якобы дополнить диалектический материализм некоторыми философскими положениями, вытекающими из копенгагенской интерпретации. С позиций, развиваемых и подробно обосновываемых в книге Боба, последнее направление не представляется прогрессивным, так как в основе копенгагенской интерпретации лежит философия еще более ограниченная, чем ранее отвергнутая физикой философия механицизма.

Я. П. Терлецкий

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучавшие развитие современной физики знают, что прогресс нашего познания микроскопических явлений привел в теоретическом истолковании этих явлений к точке зрения, совершенно отличной от точки зрения классической физики. Классическая физика позволяла описывать развитие событий в природе как причинно разворачивающееся в пространстве и времени (или в релятивистском пространстве-времени) и, следовательно, создавать ясные и точные для воображения физика модели, а современная квантовая физика запрещает любые представления этого типа и делает их совершенно невозможными. Она допускает лишь теории, в основу которых положены чисто абстрактные формулы, и ставит под сомнение идею о причинном ходе атомных и корпускулярных явлений; она признает лишь законы вероятности, она рассматривает эти законы как законы, которые имеют первичный характер и составляют конечную познаваемую реальность; она не позволяет объяснять их как результат причинного развития, которое происходит на еще более глубоком уровне физического мира.

Мы можем с достаточным основанием признать, что взгляды, которых 30 лет назад начали придерживаться физики-теоретики, работавшие в области квантовой теории являются, по крайней мере *внешне*, точной копией сведений о мире атома, полученных из эксперимента. Конечно, на достигнутом ныне уровне исследований в физике микромира методы измерения не позволяют нам определять одновременно все величины, необхо-

димые для получения корпускулярной картины классического типа (это может быть выведено из принципа неопределенности Гейзенберга), и не поддающиеся устранению возмущения, вносимые измерением, лишают нас возможности в общем виде точно предсказать его результат и допускают лишь возможность статистических предсказаний. Таким образом, построение чисто вероятностных формул, которыми пользуются ныне теоретики, было полностью оправдано. Однако большинство последних часто под влиянием предвзятых идей, вытекающих из позитивистской доктрины, полагают большее, то есть, что неопределенный и неполный характер знания о действительных процессах в физике микромира, получаемого из эксперимента, на его современной стадии является результатом реальной индетерминистичности физических состояний и их изменения. Следовательно, такая экстраполяция, видимо, не является оправданной. Возможно, что, познавая в будущем более глубокий уровень физической реальности, мы сможем интерпретировать вероятностные законы и квантовую физику как статистический результат проявления полностью детерминированных значений переменных, которые в настоящее время скрыты от нашего взора. Может быть, когда-нибудь мощные средства, которые мы начинаем использовать для исследования структуры ядра и для получения новых частиц, дадут нам точные сведения об этих более глубоких уровнях, не известных нам сейчас. Сопrotивление любым попыткам выйти за рамки современной точки зрения квантовой физики могло бы быть очень опасным для прогресса науки и, кроме того, оно могло бы противоречить опыту, почерпнутому нами из истории науки. Действительно, последняя учит нас, что фактическое состояние наших знаний всегда является временным и что, кроме исследованных, должны существовать огромные области, еще ожидающие своего открытия. Кроме того, в течение последних нескольких лет квантовая физика столкнулась с проблемами, которые она не в состоянии решить, и, видимо, зашла в тупик. Эта ситуация дает серьезные основания полагать, что попытка видоизменить пределы идей, в которые добровольно заключила себя квантовая физика, была бы ценной.

Отрадно видеть, что за последние несколько лет предприняты попытки пересмотра основ существующей интерпретации физики микромира. Исходным пунктом этих попыток явились две статьи, опубликованные в начале 1952 г. Давидом Бомом в журнале «Physical Review». Много лет назад, в мае 1927 г., в статье, опубликованной в журнале «Journal de Physique», я выдвинул причинную интерпретацию волновой механики, которую назвал «теорией двойного решения», но, обескураженный критикой, которую вызвала эта попытка, я от нее отказался. Профессор Бом в своей статье 1952 г. взял из этой статьи некоторые идеи и, сопровождая их критическими замечаниями и развивая в очень интересном направлении, успешно разработал важные аргументы в пользу причинной реинтерпретации квантовой физики. Статья профессора Боба заставила меня вернуться к моим старым взглядам, и я вместе с моими молодыми коллегами из Института Анри Пуанкаре, в частности с Жан-Пьером Вижье, смог получить некоторые обнадеживающие результаты. Вижье в сотрудничестве с профессором Бомом развил интересную интерпретацию статистического смысла $|\psi|^2$ в волновой механике. Представляется желательным, чтобы в ближайшие годы усилия в этом направлении были продолжены. Мне кажется, что можно надеяться на плодотворность этих усилий, а также на то, что они помогут квантовой физике выйти из тупика, в котором она в настоящий момент находится.

Стремясь показать правомерность, а также необходимость таких попыток, профессор Бом пришел к выводу, что настал момент для возобновления его работ по критическому анализу природы физических теорий и интерпретаций, допускающих объяснение явлений природы на современном уровне развития науки. Он сравнил развитие классической физики, в которой последовательно, одна за другой, возникали точки зрения всеобщего механицизма, затем общей теории полей, а затем статистических теорий, с введением квантовой физикой ее собственных новых концепций. Он тонко и тщательно проанализировал идею случайности и показал, что она возникает на каждой стадии развития нашего знания, когда мы не боимся сознавать, что находимся на пороге познания более глубокого уровня

реальности, пока еще от нас ускользающего. Будучи убежденным, что теоретическая физика всегда приводила и будет приводить к открытию все более и более глубоких уровней физического мира и что этот процесс будет продолжаться беспредельно, он пришел к заключению, что квантовая физика не имеет права рассматривать свои современные взгляды как законченные и что она не может запретить исследователям предполагать наличие областей реальности более глубоких, чем уже исследованные.

Я не могу здесь дать полную оценку тщательного и замечательного исследования, проведенного профессором Бомом. Читатель найдет в нем очень изящный и богатый материалом для размышления анализ, который его многому научит и наведет на собственные мысли. Никто не может написать такую книгу квалифицированнее, чем профессор Бом, и она выходит как раз во-время.

Луи де Бройль

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В рамках обычной интерпретации квантовой теории принимается ряд по существу философских выводов, под влиянием того мнения, что они являются необходимыми следствиями теории как таковой, и как правило при этом не отдают отчета в их философском происхождении. Одним из этих выводов, имеющим наиболее далеко идущие следствия, является представление, согласно которому на микроскопическом уровне закономерными являются лишь статистические свойства явлений, в то время как индивидуальные свойства (по крайней мере их частные детали) принципиально не подчиняются никаким видам законов вообще.

В настоящей книге вышеупомянутый вопрос исследован подробно. Приведенные аргументы показывают, что это представление не является на самом деле необходимым следствием квантовой теории, и подробно прослежена его связь с некоторыми современными философскими идеями. Для того, чтобы более четко представить эту точку зрения, автор стремился с помощью конкретных примеров иных формулировок показать, что квантовую механику можно вполне интерпретировать различными способами. Однако следует подчеркнуть, что такие формулировки не претендуют на то, чтобы быть окончательными или вполне определенными формулировками, а имеют целью сделать более ясными основания для исследований в новых направлениях. После окончания настоящей книги автор продолжал исследование, и ему удалось получить некоторые новые идеи,

которые будут опубликованы. Но, коротко говоря, наиболее важные новые идеи сводятся к следующему. Прежде всего, как индивидуальные, так и статистические свойства явлений на микроскопическом уровне подчиняются закону, но этот закон не является чисто причинным законом. Напротив, он принимает более общую форму. Он не просто связывает состояние системы в один момент времени с состоянием системы в другой момент времени, а связывает каждую часть процесса с процессом в целом в течение всего периода времени. Таким образом, появляется возможность показать, каким образом даже частные детали событий на микроскопическом уровне являются необходимыми; эта необходимость является результатом их отношений к процессам, составными частями которых они являются. Причем при показе необходимости можно обойтись без механистического детерминизма. Действительно, более общий закон вскрывает основания причинных отношений, а также ограниченность этих отношений, которые, в частности, принимают форму случайности. Следовательно, даже случайность, по-видимому, является необходимой и, более того, не менее объективной, чем причинность.

Этот новый вид закона помогает преодолеть некоторые трудности существующих теорий (например, бесконечности в современной полевой теории) и приводит к новой трактовке свойств элементарных частиц (включая свойства, связанные с несохранением четности). Более того, он дает основания полагать, что могут иметь место новые виды экспериментальных отношений, особенно в области высоких энергий. Например, свойства элементарных частиц в настоящее время изучаются по рассеянию большого количества таких частиц на ядрах, а далее ищут чисто статистические законы, которым подчиняется этот процесс рассеяния. Вышеупомянутый же закон дает основания полагать, что необходимо изучать новые типы экспериментальных отношений, рассматривая временную последовательность событий, возникающих при отдельных столкновениях частиц высокой энергии. Отношения этого типа вообще не могут быть выражены с помощью обычной системы понятий, связанных с общепринятой интерпретацией квантовой механики.

Очевидно, еще преждевременно решать вопрос о правильности этого направления исследований. Тем не менее оно уже привело к ряду многообещающих идей и дало возможность составить представление о новых взаимосвязях, которые следует искать в экспериментальных фактах.

Давид Бом

Бристольский университет
Февраль 1959 года

Г л а в а I

ПРИЧИННОСТЬ И СЛУЧАЙНОСТЬ В ЗАКОНАХ ПРИРОДЫ

§ 1. Введение

В природе ничто не остается постоянным. Все находится в вечном состоянии превращения, движения и изменения. Однако мы обнаруживаем, что ничто не возникает просто из ничего, не имея ранее существовавшего, предшествующего. Также ничто не исчезает бесследно, в том смысле, что оно не дает начала абсолютно ничему, что существует в дальнейшем. Эта общая характерная особенность мира может быть сформулирована в виде принципа, который является обобщением громадного количества различного рода опытов и которому никогда не противоречили ни одно наблюдение или эксперимент, научный или иной; а именно, все возникает из других вещей и дает начало другим вещам.

Однако этот принцип не является утверждением о существовании причинности в природе. В самом деле, он является даже более фундаментальным, чем принцип причинности, так как лежит в основе нашей возможности рационального понимания природы.

Если мы хотим от этого общего принципа перейти к причинности, то следует отметить, что, поскольку мы изучаем процессы, происходящие в широкой области условий, мы обнаруживаем, что среди всей сложности изменений и превращений имеются *зависимости*, которые существенным образом остаются постоянными. Так, предметы, брошенные высоко в воздух, при наличии широкого круга условий падают на землю. Более подробное

изучение скорости падения показывает, что если можно пренебречь сопротивлением воздуха, то ускорение является постоянным, кроме того, учитывая сопротивление воздуха, можно найти еще более общие зависимости. Аналогично поверхность воды, налитой в сосуд, при широком круге условий всегда является горизонтальной. Примеры такого рода можно увеличивать бесконечно. Крайняя общность этого типа поведения заставляет думать, что в процессах, при которых одна вещь вытекает из других, постоянство некоторых отношений из числа очень разнообразных превращений и изменений, видимо, не является чисто случайным стечением обстоятельств. Скорее мы истолковываем это постоянство как *необходимые* взаимосвязи в том смысле, что они не могли быть иными, поскольку они являются неотъемлемыми и существенными сторонами внутренней природы вещей. Тогда те необходимые взаимосвязи между предметами, событиями, условиями и т. д. в данный момент и в последующий называются *причинными законами*.

Однако необходимость причинного закона иногда не является абсолютной, и мы поэтому сталкиваемся с новой проблемой. Например, рассмотрим закон, которому подчиняется падение тела, брошенного высоко в воздух. В действительности он обычно падает. Но, если предметом является кусочек бумаги и если «случайно» дует сильный ветер, он может и подниматься. Таким образом, мы видим, что законы природы следует понимать как необходимые, лишь абстрагируясь¹ от *несущественных факторов*, представляющих собой существенно независимые факторы; последние могут иметь место вне круга явлений, которые могут быть описаны на основе рассматриваемых законов и которые не следуют с необходимостью из чего-либо, что может быть предопределено этой совокупностью законов. Такие не-

¹ В настоящей книге мы везде будем употреблять слово «абстрактный» в его буквальном смысле «отвлеченный». Когда мы абстрагируем что-либо, мы производим упрощение, *отвлекаясь* от его полного окружения. Обычно это производится путем отвлечения общих черт, присущих большому множеству сходных вещей. Таким образом, абстракции имеют тенденцию к определенному обобщению. Тогда справедливость конкретной абстракции в данной ситуации зависит от того, сколь незначительную роль в интересующей нас проблеме играют факторы, которыми мы пренебрегаем.

существенные факторы приводят к *случайности*¹. Следовательно, мы понимаем необходимость законов природы как *условную*, поскольку она применима лишь тогда, когда можно пренебречь этими несущественными факторами. Во многих случаях ими действительно можно пренебречь. Например, для всех практических целей несущественные факторы при движении планет не имеют совершенно никакого значения. Но, разумеется, в большинстве других случаев несущественные факторы имеют немного большее значение. Однако даже когда несущественные факторы важны, можно *абстрактно* рассматривать причинный закон как нечто, что можно *было бы* применить при отсутствии несущественных факторов. Очень часто для практических целей мы можем выделить из несущественных факторов интересующий нас процесс с помощью соответствующего экспериментального прибора и таким образом проверить правильность такого абстрактного представления о необходимости причинных взаимосвязей.

Если мы учитываем во вселенной *всё*, то, возможно, возражение заключается в том, что категория несущественного фактора должна исчезнуть, и всё происходящее следует рассматривать как возникающее одно из другого, необходимо и неизбежно. С другой стороны, не известен причинный закон, который бы таким образом в действительности проявлялся. Верно, что для любой данной проблемы мы даже можем, расширяя область рассматриваемых процессов, найти законы, управляющие некоторыми несущественными факторами. Так в случае с кусочком бумаги, подхваченным ветром, мы в конечном счете можем изучить законы, определяющие движение ветра. Но здесь мы встретимся с новыми несущественными факторами, потому что поведение ветра зависит от расположения облаков, температуры воды и земли и даже, как показывают последние метеорологические исследования, от элек-

¹ В данном случае мы берем выражение «несущественный фактор» в самом широком смысле, а именно в смысле, противоположном понятию «необходимость». Таким образом, несущественный фактор — это то, что могло бы быть иным. Ниже мы увидим, что случайность является некоторой очень распространенной формой несущественных факторов, а причинность аналогично является частной, но очень распространенной формой необходимости.

тронных потоков и ультрафиолетовых лучей, которые могут излучаться с необычной интенсивностью во время активности солнечных пятен. Однако это означает, что мы должны проникать в глубь законов, которым подчиняются расположение облаков, земных или водных массивов, а также процессы возникновения солнечных пятен. До сих пор не доказано, что возможности такого прослеживания причинной связи когда-либо наступит конец. Иными словами, найдено, что каждое необходимо действующее реальное причинное отношение из конечной совокупности подвержено влиянию несущественных факторов, существующих вне рассматриваемого круга отношений¹.

Для понимания фактически найденного таким путем отношения между причинностью и несущественными факторами мы можем сравнить отношения между этими двумя категориями с двумя противоположными точками зрения на один и тот же предмет. Каждая точка зрения является абстракцией, которая сама по себе дает достаточное представление о некоторых свойствах предмета, но которая приведет к ошибочным результатам, если мы забудем, что в конце концов она является лишь частной точкой зрения. Тогда каждая точка зрения ограничивает другую, исправляет ее и в своей взаимосвязи с ней позволяет нам составить более полное представление о сущности предмета. Конечно, мы можем принять бесчисленное множество точек зрения различных, но связанных между собой так, что для каждой точки зрения всегда можно найти противоположную. Таким образом, поскольку мы всегда можем рассматривать любой заданный процесс с любой желаемой стороны (например, с причинной стороны) путем выбора соответствующей совокупности отношений, всегда возможно найти другую совокупность, согласно которой мы рассматриваем его с противоположной стороны (в данном случае со стороны несущественных факторов).

¹ Делались различные чисто философские попытки определить причинные законы, полностью свободные от несущественных факторов. Такие попытки основаны на механистическом взгляде на мир. Недостаточность этой точки зрения будет разъяснена в главах II и IV.

Тогда в итоге мы можем сказать, что процессы, происходящие в природе, удовлетворяют более общим законам, чем законы причинности, потому что эти процессы могут, кроме того, удовлетворять законам случая (мы рассмотрим их более подробно в § 8 и 9), а также законам, связывающим причинность и случайность. Общую категорию закона, включающего причинные законы, законы случая и законы, связывающие эти два класса законов, мы будем называть законами природы.

§ 2. Причинность в процессах природы

Причинные законы в конкретной проблеме нельзя установить априори; их нужно *найти* в природе. Однако на основе научного опыта, накопленного многими поколениями, а также на основе повседневного человеческого опыта, накопленного за очень многие столетия, были весьма хорошо разработаны вполне определенные методы нахождения этих причинных законов. Конечно, первым, что наводит на мысль о существовании причинной связи, является существование повторяющегося отношения, которое сохраняется в широком диапазоне изменения условий. Когда мы ищем такие повторяемости, мы не предполагаем, что они возникают произвольным, непостоянным образом или являются совпадениями, но, как указывалось в предыдущем параграфе, мы полагаем, по крайней мере временно, что они являются результатом необходимых причинных связей. И даже если мы будем рассматривать неповторяющиеся отношения, всегда существующие наряду с повторяющимися, то на основе общего научного опыта мы должны ожидать, что явление, которое на конкретной стадии развития наших знаний может казаться нам совершенно неповторяющимся, позднее может представиться нам, как содержащее более неуловимые типы повторяемости, которые в свою очередь дадут нам основание предполагать существование еще более глубоких причинных взаимосвязей.

После того как мы найдем, что некоторые повторяемости, наличие которых мы временно предположили, являются результатами причинных законов, мы вводим

гипотезы относительно законов, которые объяснили бы эти повторяемости и позволили бы нам рационально понять их происхождение¹. Эти гипотезы, вообще говоря, приведут нас к новым *предсказаниям* вещей, не содержащихся в эмпирических данных, служивших основой для их получения. Такие предсказания могут быть затем проверены либо путем простого наблюдения явлений, не изменяющего их естественного хода, либо путем более активной постановки эксперимента, либо путем применения гипотез как руководства для практической деятельности.

При наблюдениях и экспериментах делается попытка выбрать условия, при которых интересующий нас процесс изолирован от влияния несущественных факторов. Хотя нельзя полностью игнорировать несущественные факторы, зачастую можно достигнуть степени изоляции, вполне подходящей для практических целей. Если затем предсказания, сделанные на основе наших гипотез, систематически подтверждаются в широкой области условий и если в известном приближении, из которого мы исходили, все неудачные проверки можно понять как результаты влияния несущественных факторов, которые не могут быть устранены², то гипотеза, принимаемая как принципиально правильная, применима по крайней мере в пределах изучаемой области явлений, а также с очень большой вероятностью и во многих новых, еще не изученных областях. Если такую проверку осуществить нельзя, то, разумеется, необходимо вернуться назад и искать новые гипотезы до тех пор, пока она не будет осуществлена.

Однако даже после того, как получены правильные гипотезы, процесс познания на этом не останавливается, так как, вообще говоря, такие гипотезы позволяют провести новые наблюдения и эксперименты и осуществлять практическую деятельность, в процессе которых можно

¹ Под объяснением данной вещи мы понимаем доказательство того, что эта вещь необходимо следует из других вещей. Поэтому объяснение сокращает число произвольных элементов любой заданной совокупности.

² Например, когда мы видим, что кусок бумаги, подброшенный в воздух, не падает, мы должны предположить, что случилось нечто (например, дует ветер), объясняющее несостоятельность нашего предсказания, что брошенные в гравитационном поле Земли предметы будут падать на землю.

открыть новые эмпирические повторяемости, которые в свою очередь нуждаются в новых объяснениях либо с помощью видоизменения существующих гипотез, либо с помощью фундаментального пересмотра одной или большего числа гипотез, лежащих в их основе. Таким образом, теоретическое объяснение и эмпирическая проверка дополняют, стимулируют друг друга и обеспечивают непрерывный рост и развитие науки как с точки зрения теории, так и с точки зрения практики и эксперимента.

Однако необходимо более строго рассмотреть представление о причинности, изложенное в настоящем параграфе. Это мы сейчас сделаем на примерах, взятых из различных областей, которые показывают, как могут фактически проявляться в конкретных случаях различные виды причинных связей.

§ 3. Ассоциация и причинная связь

Прежде всего мы более строго проанализируем соотношение между причинностью и повторяющейся ассоциацией условий или событий, потому что повторяющаяся ассоциация между заданной системой событий или условий в прошлом А и другой системой в будущем В, не обязательно означает, что А является причиной В. Напротив, она может означать, что А и В связаны между собой просто потому, что они оба являются следствием некоторой общей системы причин С, которая является первичной по отношению к А и В. Например, перед наступлением зимы деревья, как правило, сбрасывают листву. Все же листопад является не причиной зимы, а *действием* общего процесса понижения температуры, который сначала вызывает листопад, а позднее — наступление зимы. Ясно, что понятие причинности является более глубоким, чем понятие просто повторяющейся ассоциации, в которой одна система событий предшествует другой во времени. Кроме того, оно имеет смысл того, что абстрагированные, конечно, от несущественных факторов будущие действия вызываются прошлыми причинами через посредство процесса, удовлетворяющего *необходимым* отношениям. И очевидно, что лишь одной ассоциации недостаточно для доказательства наличия этого рода связи.

Одним из основных способов приведения довода в пользу предположения о том, что заданная система событий или условий необходимо следует из другой, является демонстрация того, что широкая область *изменений* одной или более предполагаемых причин при неизменности других факторов всегда вызовет соответствующие изменения действий. Чем больше такого рода согласований можно наблюдать при изменениях двух систем событий, тем основательнее довод в пользу того, что они связаны причинно, а при наличии достаточно большого числа таких согласований можно быть уверенным, что практически гипотеза о причинной связи верна. Однако для того, чтобы показать это, обычно требуется активное вмешательство с нашей стороны с помощью эксперимента, хотя в некоторых случаях происходит достаточное количество естественных изменений нужного рода, что будет равнозначно проведению большого количества наблюдений явлений, которыми мы уже располагаем.

На примере, взятом из области медицины, мы можем проиллюстрировать, как с помощью соответствующих экспериментов и наблюдений можно отличить повторяющуюся ассоциацию событий от причинно связанных событий. Было замечено, что малярия связана с влажностью ночного воздуха. Поэтому полагали, что влажный ночной воздух и является причиной малярии. Но эта гипотеза не объясняла фактов достаточно хорошо, поскольку было найдено, что малярия может существовать в местах с сухим воздухом и зачастую отсутствовать в местах с очень влажным воздухом. Но было замечено, что в местах с влажным воздухом имеется много комаров, которые кусали людей, оставивших окна своих жилищ открытыми. Затем была выдвинута гипотеза о том, что комары переносят из крови больного человека в кровь здорового нечто, могущее вызывать малярию. Такая гипотеза могла бы объяснить, почему малярия обычно встречается в сырых местах, поскольку в таких местах имеется много комаров. Она также объясняла, почему малярия может возникать в сухих местах, если только там имеются случайные водоемы, в которых могут водиться комары. Наконец, она объясняла, почему малярия может и не быть в сырых местах при условии отсутствия в окрест-

ности больных людей. Таким образом, была выдвинута гипотеза, которая могла объяснить широкую область факторов, по крайней мере в общих чертах. Однако для проверки этой гипотезы были нужны эксперименты, специально поставленные для того, чтобы убедиться в том, что связь между комарами и болезнями является не просто повторяющейся ассоциацией, а влажный воздух не является одной из реальных причин. Был поставлен эксперимент, при котором испытуемые добровольцы были разделены на три группы. Все группы были защищены от укусов комаров, которые могли случайно находиться в окрестности. Первая группа была полностью защищена от укусов комаров, вторая была открыта для укусов комаров, которые не имели доступа к больным малярией, а третья открыта для укусов комаров, которые кусали и больных малярией. Все три группы были разделены на две части: одна из них подвергалась действию влажного воздуха, а вторая — не подвергалась. Малярией заболели лишь те члены третьей группы, которые были укушены комарами особого вида (анофелес). Замена влажного воздуха сухим не влияла на результаты исследования любой из этих групп, и это, таким образом, показывало, что этот фактор был просто ассоциацией¹, а не истинной причиной. С другой стороны, устранение комаров вида анофелес или контакта их с людьми, зараженными малярией, устраняло и болезнь. Поэтому истинной причиной должно было быть что-то передающееся комарами вида анофелес из крови больного человека в кровь здорового человека. Последующее исследование показало, что оно является некоторым видом простейших (плазмодием).

На этом примере можно видеть значение контрольных экспериментов для различения истинной причины и не относящейся к делу ассоциации. Он также показывает, как поиски лучшего объяснения фактов часто помогают обнаружению некоторых истинных причин. Наконец, он показывает важность открытия такой причины, поскольку открытие позволило контролировать

¹ Ясно, что влажный воздух и существование комаров, вообще говоря, имеют общую причину (то есть водоемы со стоячей водой), которая объясняет, почему мы часто находим их вместе.

заболевание малярией, а также помогло в поисках лекарств, которые смогли бы убивать возбудителей малярии.

§ 4. Существенные причины из данной совокупности причин

В предыдущем примере мы значительно упростили проблему, предполагая, что имеется лишь одна причина малярии. В действительности проблема значительно более сложна, чем указано выше. Не каждый, кто подвергся укусам зараженного комара, заболевает. Этот факт можно объяснить, если мы более подробно рассмотрим процессы, связанные с заболеванием. Так, плазмодий вырабатывает вещества, которые являются вредными для организма и вызывают заболевания человека. Но организм может вырабатывать вещества, которые являются вредными для плазмодия. Таким образом, заранее мы не знаем, какое вещество окажется более сильным, ответ на этот вопрос зависит от рассмотрения сложных факторов, относящихся к функционированию плазмодия и тела, которые, однако, до сих пор полностью не поняты. И было бы слишком большим упрощением считать, что плазмодий является *единственной* причиной малярии. Фактически он просто является возбудителем процессов, которые вызывают заболевание и, следовательно, просто вносит свой вклад в возбуждение малярии.

Но теперь, если мы допустим, что каждое условие или событие имеет много непосредственно вызывающих его причин, то мы приходим к ряду новых проблем. Прежде всего мы отметим, что, следовательно, все события или предметы во вселенной проявляют себя до некоторой степени как взаимосвязанные, пусть даже и очень слабо. Тогда, строго говоря, следует сказать, что все может иметь бесконечное число непосредственно вызывающих причин. Но на практике большинство их вызывает в объектах лишь незначительное действие. Итак, мы можем определить «существенные причины» данного действия, как условия или события, которые наряду с другими оказывают ощутимое влияние на рассматриваемые действия.

В качестве примера мы опять рассмотрим проблему малярии. Сила притяжения Луны действует на каждый предмет во вселенной, следовательно, на плазмодий и на человека, заболевшего малярией. Однако на практике это влияние обычно настолько мало, что им можно пренебречь. Но не всегда. Потому что Луна может вызывать приливы, которые возвращают текущий в море поток воды и, следовательно, образуют пресноводные водоемы, в которых могут размножаться комары. Поэтому в некоторых случаях Луна могла бы быть косвенной причиной, вызывающей малярию. Следовательно, в любой конкретной проблеме вопрос о том, что является «существенными причинами», не может быть решен а priori, а может вообще быть решен в каждом случае лишь после тщательного изучения, целью которого является отыскание факторов, которые необходимы в пределах данной совокупности для создания существенных черт рассматриваемого действия.

Даже после отбора факторов, которыми можно пренебречь, мы еще должны решить ряд серьезных проблем. Одной из них является вопрос: *все* ли существенные причины мы учли, потому что простое доказательство того, что изменение предполагаемой причины оказывает заметное влияние на действие при неизменности других предполагаемых причин, лишь показывает, что найдена *одна* из существенных причин. Для проверки по крайней мере того, что нам *не удалось* найти все существенные причины, было проведено испытание на воспроизводимость. Это испытание основано на следующем принципе: если мы воспроизводим *все* существенные причины, то действие должно воспроизводиться по крайней мере в своих основных чертах. Следовательно, обнаружение того, что результаты эксперимента не являются воспроизводимыми, дает основание полагать, что одна существенная причина или несколько существенных причин меняются от одного эксперимента к другому, вызывая таким образом изменение действия. В сущности это является применением принципа, сформулированного в начале этой главы, а именно принципа: все вытекает из чего-то другого. Таким образом, в этом случае мы не допускаем возможности произвольных изменений, которые совершенно не связаны с изменениями состояния вещей, из которого вытекает действие. Если

мы получим необъясненные действия, то с помощью тщательно контролируемых экспериментов, в основе которых лежат гипотезы, построенные на имеющихся фактах, необходимо обнаружить причины отсутствия воспроизводимости действий. Например, для случая малярии мы уже отмечали, что укус зараженного комара не всегда передает болезнь. Это отсутствие полной воспроизводимости дает основание полагать, что имеют место и другие факторы, и, действительно, как мы видели, известные существенные причины малярии весьма сложны, на деле они включают в себя факторы химического состава крови, общее состояние здоровья и т. д., что в настоящее время изучено лишь частично.

Испытание на воспроизводимость позволяет нам сказать, что мы учли *еще* не все существенные причины. Но с помощью опыта нельзя доказать, что мы учли все эти причины, поскольку всегда возможно, что существенные причины могут включать в себя еще не известные дополнительные факторы, которые в процессе экспериментов и наблюдений, проведенных до сих пор для выявления изменения этих действий никогда значительно не изменялись. Например, в XIX в. диета считалась нормальной, если она содержала определенный минимум жиров, белков, углеводов и различных минеральных солей, и такая гипотеза, конечно, подтверждалась тем, что люди, получавшие достаточное количество этих веществ в обычной пище, не страдали заметными авитаминозами. Но более широкая группа наблюдений показала, что, например, люди, которые в основном питаются шелушенным рисом, страдают от болезни бери-бери, а люди, которые питаются целым рисом, от нее не страдают. Поэтому возникло подозрение, что шелуха риса содержит дополнительные вещества, необходимые при полной диете. Последующие исследования показали, что существует целый ряд таких веществ, называемых ныне витаминами. Витамины действительно всегда были необходимы для здоровой диеты, но в большинстве случаев они являются настолько широко распространенными, что авитаминозы не были настолько обычным явлением для того, чтобы обратить внимание на существование этих очень важных потребностей человеческого организма. Таким образом, по мере того, как расширяется

область изменения условий эксперимента или наблюдения, мы всегда должны быть подготовлены к возможности существования новых существенных причин в любой конкретной области.

Для решения проблем, возникших из-за нашей неспособности знать все существенные причинные факторы, которые могут вызвать данное действие, нужно выработать критерий отличия непосредственных причин от условий (или побочных причин). Непосредственные причины можно определить как причины, которые, будучи подвергнуты данной совокупности изменений, вызовут существенное изменение действий. Условия можно определить как факторы, которые являются необходимыми для получения рассматриваемых результатов, но существенное изменение рассматриваемой совокупности которых недостаточно для заметного изменения действий. Например, можно сказать, что плодородная почва плюс обилие дождей составляют общие условия (или побочные причины), необходимые для получения хорошего урожая. Но непосредственной причиной его должен быть посев соответствующих семян.

Однако, различие между непосредственными причинами и условиями является абстракцией, полезной для анализа, но не всегда точной, поскольку побочные причины всегда могут изменяться при достаточном изменении условий. Например, мы видели, что при изучении причины бери-бери происхождение этой болезни затемнялось существованием общих побочных причин, состоящих в том, что в большинстве случаев в пище содержится достаточное количество витаминов, необходимое для того, чтобы она была нормальной диетой. Но последующие исследования обнаружили условия, при которых эти побочные причины отсутствовали.

Внешние факторы могут не только изменить побочные условия, но очень часто сами могут значительно измениться спустя достаточное количество времени под влиянием процессов, происходящих среди самих побочных причин, например вырубка лесов, сопровождающая возделывание сельскохозяйственных культур, может истощить плодородие почвы, даже заметно изменить климат и годовое количество осадков. В физике влияние любого процесса на его «побочные причины» даже еще более ярко выражается в законе Ньютона, гласящем,

что действие равно противодействию. Из этого закона следует, что никакое тело не может действовать на другое, не испытывая само воздействие в такой же степени. Таким образом, в действительности не может существовать совершенно постоянной совокупности побочных причин. Тем не менее в любой заданной проблеме большое количество факторов может оставаться достаточно постоянным для того, чтобы их можно было рассматривать с приемлемой степенью приближения как постоянную совокупность побочных причин. Таким образом, различие между непосредственными причинами и условиями, или побочными причинами, относительно и зависит в свою очередь от условий. Однако, поскольку мы никогда не можем быть уверенными в том, что мы в своей теории учли *все* существенные причины, все причинные законы должны всегда дополняться конкретизацией условий или совокупности побочных причин, при которых найденные законы являются применимыми.

§ 5. Более общие критерии для причинных отношений

Даже когда невозможно осуществить воспроизводимые и контролируемые эксперименты и даже когда нельзя точно определить условия проблемы, еще зачастую можно найти по крайней мере несколько (а в принципе произвольно большое число) существенных причин данной совокупности явлений. Это можно сделать путем определения, какие предшествующие процессы могли бы быть причиной наблюдаемых отношений, которые существуют среди этих явлений в настоящее время.

Очень хорошо известным примером отрасли науки, в которой невозможно осуществить воспроизводимые и контролируемые эксперименты (по крайней мере при современных методах) и в которой условия проблемы не могут быть определены очень точно, является геология. В этой науке наиболее важным методом формулировки теорий является попытка воссоздать прошлую историю Земли на основе наблюдений за существующими структурами горных пород, гор, морей и т. д. Тогда мы зададим вопрос: «Что могло явиться причиной современных структур?» Например, мы видим, что ряд слоев горных пород смяты в диагональные складки. Существо-

вание такой структуры дает основание полагать, что, когда область была дном моря и озера, слои располагались горизонтально. Затем слои были нарушены и смяты в складки вследствие движений земной коры.

Хотя это объяснение кажется весьма правдоподобным, ясно, что мы не можем доказать его с помощью контролируемых и воспроизводимых экспериментов или наблюдений, проведенных в соответствующих условиях, поскольку все рассматриваемые процессы происходили очень давно, и масштаб явлений, во всяком случае, является слишком большим для того, чтобы мы могли проверить такую теорию с помощью эксперимента. Более того, вследствие ограниченности количества доступных для изучения геологических формаций и вследствие того, что каждая формация имеет так много индивидуальных особенностей, что это до некоторой степени само по себе представляет проблему, мы не можем надеяться, что происходящих естественным образом изменений различных существенных причин окажется достаточно для замены эксперимента с контролируемым в определенных условиях изменениями.

Значит ли это, что мы не располагаем методом проверки гипотез, объясняющих причины образования геологических формаций? Ясно, что нет. Прежде всего, имеет место общее согласие с очень широкой совокупностью данных, которые могут быть с их помощью объяснены. Например, тот же самый тип предположения, который объяснил бы складчатую структуру горных пород в некоторых местах, мог бы также объяснить факт частого обнаружения раковин морских животных, что указывает на то, что некогда эти области располагались ниже уровня моря, и далее подтверждает идею о том, что за длительный период земная кора сильно перемещается. Примеры этого рода могут быть умножены. Таким образом, мы получаем подтверждение геологических теорий. Еще большее подтверждение получается, когда теории правильно предсказывают новые открытия. Например, согласно некоторым теориям образования нефти, мы предполагаем найти нефть в одних местах и не найти ее в других. Если мы находим нефть в местах, более или менее предсказанных теориями, то получаем важное подтверждение гипотезы о происхождении нефти.

Конечно, гипотезы типа, рассмотренного нами выше, вообще говоря, позднее будут подвергаться исправлениям, видоизменениям и развитию по мере получения новых данных. Однако, с этой точки зрения, ситуация в геологии в основном не отличается от ситуации в тех отраслях науки, где можно в конкретных условиях ставить воспроизводимые эксперименты и наблюдения. В таких отраслях подобные гипотезы в дальнейшем подвергаются исправлениям, видоизменениям и развитию. Например, в конце концов было найдено, что приближенными являются даже законы движения Ньютона¹, которые свыше двухсот лет рассматривались как абсолютно правильные выражения наиболее фундаментальных и универсальных законов физики и которые были подтверждены огромным количеством воспроизводимых и очень точных экспериментов и наблюдений, проведенных при вполне определенных условиях. Законы Ньютона — очень хорошее приближение для случая скоростей, малых по сравнению со скоростью света, но для больших скоростей оно перестает быть хорошим. Тут уже нужно применять теорию относительности Эйнштейна, которая для скоростей малых по сравнению со скоростью света дает примерно те же результаты, что и законы движения Ньютона, но в случае больших скоростей она дает другие результаты. Конечно, в будущем мы можем найти новые условия (не обязательно связанные со скоростью), при которых теория относительности окажется приближением, которое поэтому можно будет исправлять, видоизменять и расширять. Действительно, как мы указывали в § 2, наука развивается по определенной схеме: это относится как к ее теоретической стороне, так и к ее практической и экспериментальной стороне, то есть по пути непрерывного приложения теории к новым проблемам и новым условиям и по пути непрерывного пересмотра и усовершенствования теории соответственно тому новому, что было обнаружено в этих новых приложениях.

Тогда в вышеизложенном анализе проблема отыскания причинных законов, применимых в данной области, сводится к нахождению ответа на вопрос: «Откуда возникают отношения между изучаемыми нами явле-

¹ Мы рассмотрим эти законы более подробно в главе II.

ниями?» Если возможны контролируемые эксперименты или наблюдения, проводимые в конкретных условиях, они предоставляют в наше распоряжение важный и очень эффективный инструмент проверки наших гипотез о причинных отношениях. Но независимо от возможности проведения таких экспериментов гипотезы могут быть всегда проверены путем установления степени, до которой они правильно объясняют относящиеся к делу факты, известные в рассматриваемой области, и степени, до которой они позволяют делать правильные предсказания, когда теория применяется к новым условиям. И, поскольку существуют эти возможности, любая наука может успешно развиваться по направлению к все более и более лучшему пониманию причинных законов, применимых в исследуемой области рассматриваемой науки.

§ 6. Причинные законы и свойства вещей

До сих пор мы стремились сосредоточить свое внимание на предсказании *хода событий* с помощью причинных законов; например, заболевания, вызываемого микробами, прорастания семян в соответствующих почвах, улучшения состояния здоровья от изменений питания, развития геологических формаций и т. д. Теперь мы рассмотрим другую столь же важную и фактически очень тесно связанную с предсказанием хода событий сторону причинности, а именно предсказание свойств вещей — как качественных, так и количественных.

С элементарными проявлениями этой стороны причинности мы сталкиваемся очень часто в повседневной жизни. Так, яйцо, опущенное в кипящую воду, через некоторое время сваривается вкрутую; твердый хрупкий кусок стекла после нагрева до высокой температуры становится мягким и ковким. Вода, охлажденная ниже определенной температуры, превращается в твердое тело, а нагретая выше определенной температуры превращается в пар. На менее элементарном уровне мы сталкиваемся с химическими реакциями различных веществ, в результате которых образуются качественно новые типы веществ. Сплавление нескольких металлов или их горячая обработка приводят к повышению твердости. Числу примеров подобного рода, которые можно

найти, нет конца, но для всех их существенным моментом является существование причинных связей, которые позволяют предсказывать новые свойства, приобретаемые этими вещами в ходе определенных процессов, обработок, реакций и т. д.

Во всех вышеупомянутых случаях имелось общее свойство: новые свойства предсказываются на основе представления, неявно заключающегося в понятии причинности; изменения, имевшие место в прошлом, будут опять иметь место и в будущем при воспроизведении аналогичных условий. Следовательно, хотя предсказывают, что при некоторых условиях будут иметь место некоторые изменения свойств, новые свойства как таковые не предсказываются; они просто берутся из результатов предыдущих наблюдений или экспериментов. Более совершенным типом причинного закона является закон, позволяющий предсказывать некоторые новые свойства вещей даже до того, как эти вещи наблюдались или были получены экспериментально. Например, химики, изучающие ряд соединений определенного типа, могут заметить систематическое изменение свойств при переходе от одного члена ряда к следующему. Так, в случае определенного класса углеводородов точка кипения систематически понижается по мере возрастания числа атомов углерода в молекуле. Тогда становится возможным предсказать, что новый тип молекулы, имеющий больше атомов углерода, чем любой из уже полученных, вероятно, будет иметь еще более низкую точку кипения. Аналогичные предсказания можно сделать и в физике. Так, было открыто, что существуют изотопы каждого элемента, которые представляют собой различные виды атомов, имеющих одинаковые химические свойства, но различные атомные веса. С помощью физических теорий движения атомов было показано, что различные изотопы, имеющие в смеси различную концентрацию, будут диффундировать с различными скоростями. На основе предсказанного различия свойств изотопов был разработан метод, который позволил осуществлять промышленное разделение двух изотопов урана. Благодаря этому методу разделения стало возможно создать атомный реактор. В связи с разработкой того же самого вопроса на основе существующей теории было предсказано, что уран, облучаемый потоком ней-

тронов, должен превратиться в новый элемент, плутоний, который ранее нигде не наблюдался и не был получен. Многие физические и химические свойства этого нового элемента были предсказаны приближенно. Примеры предсказаний этого рода становятся все более и более обычными во многих отраслях физики.

Факт возможности таких предсказаний показывает, что ограничения, связанные с причинными законами, не похожи на привнесенные извне ограничения; причинные законы, так сказать, не просто направляют ход событий по некоторым предписанным путям, а что скорее они являются внутренне присущими и существенными сторонами этих вещей. Так, качественное причинное отношение, состоящее в том, что вода при охлаждении превращается в лед, а при нагревании — в пар, является основной частью существенных свойств этой жидкости, без которых она не могла бы быть водой. Аналогично химический закон, согласно которому водород и кислород, соединяясь, образуют воду, является основным свойством газов водорода и кислорода, без которого они не могли бы быть (так же, как и вода не могла бы быть водой, если бы она под действием электролиза не превращалась бы в водород и кислород). Аналогично различные количественные законы являются также существенной частью вещей, к которым они относятся. Так некоторыми свойствами, по которым мы распознаем жидкость, являются значение ее температуры кипения, значение ее электропроводности, значение ее плотности, значение частот спектральных линий ее поглощения или эмиссии (которые определяют ее цвет) и большое число других таких же количественных свойств. Аналогично общие математические законы движения, которым подчиняются тела, движущиеся в пустом пространстве (или в любых других условиях), являются существенными свойствами этих тел, без которых они не могут даже быть такими телами, которыми мы их знаем. Примеры этого рода можно умножать без конца. Все они показывают нам, что причинные законы, которым подчиняется вещь, либо когда она предоставлена сама себе, либо когда находится в конкретных внешних условиях, находятся в сложной связи с основными свойствами вещи,

которые позволяют нам ее определять. Действительно, мы не можем понять, как вещь может вообще иметь какие-либо свойства, если она не подчиняется некоторому роду причинных законов; поскольку лишь простое утверждение о том, что вещь имеет некоторое свойство (например, что она имеет красный цвет), подразумевает, что она, будучи помещенной в конкретные условия, будет реагировать определенным образом (например, красный предмет, освещаемый белым светом, будет в основном отражать красный свет). Другими словами, причинные законы, которым подчиняется вещь, составляют фундаментальную и неотделимую сторону ее *способа бытия*¹.

Для того чтобы понять, почему именно и как именно причинные законы столь тесно связаны с определением сущности вещей, мы должны рассмотреть процессы, в результате которых вещи *становятся* тем, чем они есть, исходя из того, что они *представляли* когда-то и в ходе которых изменяются и опять превращаются в будущем в нечто иное. Вообще говоря, такие процессы подробно изучаются определенной наукой лишь после того, как последняя достигла довольно высокой стадии развития, в то время как на более ранних стадиях основные качества и свойства, определяющие способы бытия вещей, рассматриваемые в этой науке, обычно просто предполагаются без проведения дальнейшего анализа. Так, на ранних стадиях развития биологии различные классификации живых существ по их основным свойствам и способам жизни просто принимались как вечные и неизбежные категории, причины существования которых далее не изучались. Однако позднее была разработана эволюционная теория, которая объясняла многие фундаментальные черты, определяющие способ бытия каждого вида с помощью процесса преобразования, ограниченного «естественным отбором», процессом, в ходе которого каждый вид приобрел свой настоящий характер и который, видимо, продолжается, что приведет

¹ Или, как мы указывали в § 1, внутренний характер вещи и ее отношение к внешним причинным факторам объединены в том смысле, что они вместе определяют причинные законы, которым подчиняется эта вещь.

в будущем к появлению новых видов. Аналогично в физике на ранних ступенях ее развития вещество описывали просто с помощью некоторых характеристических свойств (например, плотности, давления, электрического сопротивления и т. д.), не углубляясь в анализ структуры вещества, в то время как позднее возникли теории, объясняющие и приближенно предсказывающие эти свойства с помощью рассмотрения процессов, происходящих на атомном уровне и на других более глубоких уровнях. В качестве примеров мы можем рассмотреть предсказание различных скоростей диффузии различных изотопов и предсказание свойств нового элемента — плутония; оба они уже упоминались нами в настоящем параграфе. До недавнего времени в физике имела место тенденция объяснять в основном такие свойства и качества с помощью описанных выше более внутренних процессов, то есть процессов, которые происходят на более глубоких уровнях материи. Однако позднее развилась тенденция вводить в физику эволюционные теории, особенно в связи с попытками в науке космологии объяснить, как конкретная часть вселенной, доступная нашему наблюдению, приобрела свои конкретные свойства. Эти теории имеют целью объяснение образования галактик, звезд и планет, объяснение распределения химических элементов в различных частях пространства и т. д. как исторического и эволюционного процесса, в ходе которого материя, формирующаяся на более ранних стадиях, образует космологический порядок, который мы в настоящее время и изучаем. Наоборот, в биологии все более возрастает тенденция к объяснению различных конкретных свойств живых существ с точки зрения процессов (химических, физических и т. д.), происходящих в живом организме. Аналогичные тенденции можно обнаружить и в других науках, например в химии, геологии и т. д. Таким образом, при дальнейшем развитии различных наук мы достигаем все лучшего и лучшего понимания того, как причинные законы, управляющие различными процессами в природе, становятся неразрывно связанными с характерными свойствами вещей, которые делают возможным определение их способов бытия.

§ 7. Одно-многозначные и много-однозначные причинные отношения

Теперь необходимо рассмотреть причинные отношения более общего типа, которые не определяют действие однозначно. В реальных проблемах очень редко приходится сталкиваться со *всеми* имеющими значение причинами, даже если они принадлежат к определенному кругу причин, для которого условия (или побочные причины) не изменяются заметно. Обычно мы можем рассмотреть лишь *некоторые* из существенных причин. Разумеется (мы видели это в § 3), следствия не являются полностью воспроизводимыми и, следовательно, неполностью предсказуемы. Тем не менее, если мы при решении данной проблемы не знаем всех существенных причин, это не означает, что мы вообще не можем делать никаких предсказаний, поскольку в таких случаях, вообще говоря, можно предсказывать следствие приближенно в том смысле, что они будут находиться внутри некоторой возможной *области*. Например, если артиллерийское орудие наведено на некоторую цель, то снаряд не упадет точно в место, предсказываемое на основе ньютоновских законов движения (которые являются причинными законами). Однако найдено, что при большем количестве подобных выстрелов попадания будут сосредоточиваться в небольшой области около точки, предсказуемой на основе расчета. Аналогичная картина поведения наблюдается весьма обычно во всех областях, в которых для получения предсказаний используются причинные законы, поскольку для каждого такого предсказания всегда имеется некоторая область *ошибки*, которая может меняться в зависимости от условий решения проблемы, но которая не может быть полностью устранена. Таким образом, общей чертой причинных отношений является то, что фактически они не определяют однозначно будущие результаты. Скорее, они позволяют лишь установить одно-многозначное соответствие между причиной и действием в том смысле, что конкретизация некоторых причин будет вообще ограничивать действие некоторой областью возможностей.

Конечно, тот факт, что причинное отношение не может однозначно определить будущие действия, не озна-

чает, что эти следствия не являются детерминированными. Ведь это противоречило бы принципу: все происходит из другого (описанному в § 1). В действительности более детальное определение следствия зависит от причин, которые находятся вне круга причин, который учитывается при рассмотрении исследуемой проблемы. В некоторых случаях эти дополнительные причины можно учесть с помощью более точного определения уже рассмотренных причинных факторов. Так, в случае наводки орудия первым шагом на пути к улучшению точности была бы попытка определить более точно угол стрельбы и положение орудия. Однако, вообще говоря, точное определение действия в конечном счете потребует учета причинных факторов качественно нового типа. Например, если бы мы старались получить предсказание траектории снаряда с *неограниченной* точностью, мы обнаруживали бы все больше и больше существенных факторов, от которых зависит траектория; например, неправильности конструкции пушки, воздушные потоки, небольшие изменения температуры, давления, влажности и в конечном счете даже движение молекул, из которых состоят орудие, снаряд, воздух и мишень. Подобные проблемы возникли бы при попытке уменьшить ошибку любого предсказания на основе причинности с целью получения неограниченной точности. Другими словами, по мере сужения области одно-многозначного причинного отношения мы вообще обнаруживаем, что каждая новая ступень в увеличении точности требует от нас учета новых и качественно отличных причинных факторов, от которых зависит результат.

В этой связи отметим, что одно-многозначный характер причинного закона не имеет существенного отношения к *недостатку знаний* с нашей стороны о дополнительных причинных факторах, обуславливающих более мелкие детали действия. Действительно, даже если мы проследили бы зависимость деталей от таких факторов, так что мы смогли бы сделать более хорошие предсказания, то еще было бы верно, что для набора факторов, при наличии которых эти детали отсутствуют, закон был бы справедлив в объективном смысле как одно-многозначный закон. Другими словами, одно-многозначный

закон представляет собой объективно необходимую причинную связь, но в этом случае необходимо, чтобы *действие оставалось ограниченным определенными рамками*; и не необходимо, чтобы действие было определено однозначно, как для причинных законов более простого типа.

Существует другой тип причинного отношения, который тесно связан с одно-многозначными причинными отношениями и который мы можем назвать много-однозначными отношениями. Много-однозначное причинное отношение является отношением, при котором много различных видов причин могут вызвать в сущности одно и то же действие. Примером его может служить следующее: все дожди, которые выпадают в пределах некоторого бассейна реки независимо от того, где именно они выпадают, достигают моря в определенном месте (то есть там, где главная река бассейна впадает в море). Также независимо от громадного количества возможных изменений деталей окружающей среды, в которой живет данное существо, можно предсказать, что это существо должно в конце концов умереть. Примеры этого рода можно найти в каждой области. Так в физике, если тело выведено из состояния покоя или приведено в движение, когда оно находится около положения устойчивого равновесия, оно в конце концов (вследствие трения) вернется к положению своего равновесия независимо от размеров области возможных начальных движений. Фактически в любой отрасли все качественные причинные законы имеют много-однозначный характер, поскольку предсказание данного качества может, вообще говоря, быть сделано независимо от широкого круга деталей, особенно деталей количественной природы. Так в случае превращения воды в пар оно происходит независимо от количества подведенного тепла при условии, что это количество превышает так называемую скрытую теплоту испарения (плюс, конечно, количество, необходимое для нагревания воды до точки кипения). Более того, не только качественные, но также и количественные законы имеют много-однозначный характер. Так законы термодинамики имеют дело со свойствами вещества в тепловом равновесии. Количественные отношения, не зависящие от деталей процессов

достижения равновесия, справедливы для условий равновесия¹.

Следует помнить, однако, что лишь некоторые свойства действия не подвергаются влиянию в широких пределах изменений причин. В действительности, согласно принципу, сформулированному в начале § 1, никакая сторона чего-либо никогда не исчезает полностью, не производя *некоторое* действие, так что две различные причины не смогли бы привести к полностью идентичным результатам. Так, если вода, выпадающая в пределах определенного речного бассейна, задерживается плотиной, то она может производить энергию, в то время как, если бы ей была предоставлена возможность течь своим естественным неупорядоченным путем, она вместо этого могла бы затопить местность и разрушить города. Но независимо от этих деталей вода в конце концов достигнет моря в устье главной реки бассейна. Аналогично образ жизни данного существа вызовет в *будущих* поколениях изменения так же, как в окружающей среде вообще, несмотря на тот факт, что как всякое живое, оно умрет. Таким образом, в то время как некоторые стороны действия могут иметь место независимо от размеров области изменений, мы обнаруживаем, что, когда действие рассматривается либо более детально, либо в более широкой совокупности условий, каждый различный вид причины вызывает в действии некоторое изменение.

Существование одно-многозначных и много-однозначных причинных отношений является очень важной характеристикой причинных законов вообще. Для того чтобы рассмотреть одно из оснований такой важности этой характеристики, напомним, что неполная точность причинных предсказаний вытекает из того, что данный результат зависит от очень многих факторов, находящихся

¹ Много-однозначные и одно-многозначные законы переплетаются в одно целое, как это и должно быть, потому что все они описывают один и тот же процесс. Так, законы термодинамики не только имеют много-однозначный характер, но и одно-многозначный характер, проистекающий из возможности ошибки, возникающей из того, что взаимная компенсация статистических флуктуаций в вышеупомянутых движениях (см. гл. II, § 14), которые приводят к законам термодинамики, никогда не является абсолютной. Аналогичное переплетение обнаруживается при более тщательном анализе во всех случаях одно-многозначных и много-однозначных законов.

в не совокупности факторов, рассматриваемой в данной проблеме. С чисто логической точки зрения можно было бы понять, что эти неизвестные или в лучшем случае плохо известные факторы могли бы вызвать изменения интересующих нас действий, которые выходят за какие-либо определенные границы. Потому, что в такой широкой области эти факторы вызовут действия, находящиеся внутри определенных границ, которые приведут таким образом к одно-многозначному причинному отношению, *данную проблему можно изучать с некоторой степенью приближения, без учета бесконечного множества факторов, необходимых для абсолютно точного предсказания любого данного результата.* Существование много-однозначных причинных отношений, очевидно, также содействует этой возможности; поскольку это означает, что многие результаты могут быть изучены независимо от очень широкого круга неизвестных нам сложных деталей или по другим основаниям, изучение которых в настоящих условиях связано со слишком большими трудностями. Отсюда мы видим, что одно-многозначный и много-однозначный характер причинных отношений объективно позволяет нам получить приближенные знания об определенных ограниченных сторонах мира при отсутствии знания всего обо всем во всей вселенной. И таким образом эти причинные отношения помогают осуществить шаг за шагом характерную научную процедуру изучения проблемы, причем каждый шаг закладывает основание для более глубокого, более детального или более широкого изучения, которое ведет к следующему шагу¹.

¹ Хорошо известный пример этой процедуры встречается в физике. Так, впервые открытые законы физики были законами макроскопической физики. Затем с помощью знания этих законов был сделан следующий шаг к изучению законов атомной физики. Как мы покажем более подробно в главе II, § 10, возможность изучения законов макроскопической физики без предварительного знакомства с законами атомной физики вытекает из много-однозначного характера статистических сторон законов атомной физики, которая допускает некоторую относительную независимость законов более высокого уровня. Аналогично следующим шагом является переход от изучения физических явлений на атомном уровне к изучению их на уровне ядра, а теперь, как мы увидим в последующих главах (особенно в IV и V), физика, видимо, готова совершить подобным же образом следующий шаг к изучению физических процессов на еще более глубоком уровне.

В общих рамках одно-многозначных и много-однозначных причинных отношений одно-однозначное отношение является тогда идеализацией, которая никогда полностью не осуществляется. При некоторых ограниченных условиях эта идеализация может настолько приближаться к действительности, что в той степени, насколько мы рассматриваем интересующую нас совокупность лишь с точки зрения существенных составных частей, мы можем приближенно рассматривать причинное отношение как одно-однозначное. Примером, наиболее подходящим под определение системы одно-однозначных причинных отношений, может служить изолированная механическая система, которую можно описывать на основе ньютоновских законов движения. Эти законы дают одно-однозначную связь между положениями и скоростями всех частей системы в данный момент времени и их положениями и скоростями в любой другой момент времени¹. Эта одно-однозначная связь является идеализацией по нескольким основаниям. Прежде всего никакая механическая система не является полностью изолированной. Возмущения, возникающие вне системы, разрушат совершенный одно-однозначный характер связи. Во-вторых, даже если мы сможем полностью изолировать систему, останутся еще возмущения, вызываемые движениями на молекулярном уровне. Конечно, в принципе можно попытаться учесть их с помощью применения законов движения к самим молекулам, но тогда обнаружилось бы дальнейшие возмущения, происходящие на квантовомеханическом уровне и являющиеся следствием более глубоких свойств материи². Таким образом, не существует действительного случая, известного как совокупность *совершенных* одно-однозначных причинных отношений, которые в принципе позволили бы делать предсказания с *неограниченной* точностью, без необходимости качественного учета новых наборов причинных факторов, существующих вне интересующей нас системы или на других уровнях³.

¹ Более подробно эти законы будут рассмотрены в главе II.

² Это будет рассмотрено в главах III, IV и V.

³ В главе V мы рассмотрим вопросы, являются ли такие отношения возможными даже в принципе.

§ 8. Несущественность, случайность и статистический закон

Теперь мы утверждаем, что несущественные факторы являются, как мы указали в § 1, возможностями, существующими вне рассматриваемого круга. Основная характеристика несущественных факторов заключается в том, что их природу нельзя определить или вывести только из свойств вещей в рассматриваемом круге. Другими словами, они обладают некоторой относительной *независимостью* от тех факторов, которые входят в этот круг. Однако, как мы видели, наш общий опыт показывает, что все вещи некоторым образом и до некоторой степени взаимосвязаны. Следовательно, мы никогда не надеемся найти полную независимость. Но до некоторого предела, при котором можно пренебречь взаимосвязью, мы можем абстрагировать из реального процесса и его взаимосвязей понятие *случайных несущественных факторов*, которые мыслятся как полностью независимые от рассматриваемого круга явлений. Таким образом, как и понятие необходимых причинных связей, понятие *случайных несущественных факторов*, видимо, является приближением, на основе которых можно дать частную трактовку ряда сторон некоторых моментов реального процесса, но которое в конечном счете должно быть исправлено и дополнено рассмотрением причинных взаимосвязей, которые всегда существуют между процессами, происходящими в различных областях явлений.

Для того чтобы более точно выразить, что понимается под случаем, мы можем рассмотреть типичное случайное событие, а именно автомобильную катастрофу. Теперь очевидно, что место, время и характер автомобильной катастрофы зависят от громадного количества факторов, небольшое изменение каждого из которых могло бы оказать сильное влияние на характер катастрофы или даже привело к тому, что она вообще не имела бы места. Например, при столкновении двух автомашин, если один из шоферов выехал на десять секунд раньше или позже, или если он остановился купить сигареты, или замедлил ход для того, чтобы не задавить кошку, перебегающую дорогу, или по любой причине из неограниченного количества аналогичных,

эта конкретная катастрофа даже и не случилась бы; кроме того, даже незначительный иной поворот руля мог либо вовсе предотвратить катастрофу, либо мог полностью изменить ее характер или в лучшую сторону, или в худшую. Мы видим, что по отношению к кругу явлений, в котором мы, например, рассматриваем действия и предосторожности, которые могут быть предприняты конкретным шофером, каждая катастрофа имеет случайную сторону. Под этим мы понимаем, что произошедшее выступает как случайное по отношению к тем факторам, которые являются в высокой степени независимыми, существующими вне рассматриваемого круга факторов, которые не имеют существенного отношения к характерным чертам, определяющим, к какому сорту людей принадлежит шофер и как он себя будет вести в данной ситуации. На этом основании мы говорим, что ограниченная таким кругом отношений конкретная катастрофа не является необходимым или неизбежным результатом развития событий, а является скорее случайностью, из чего также следует, что в пределах этого круга отношений как раз место, время и характер катастрофы, а также то, будет она иметь место или не будет, предсказать нельзя.

Оставим рассмотрение отдельной катастрофы. Рассмотрим теперь ряд подобных катастроф. Прежде всего мы заметим, что имеют место нерегулярные и непредсказуемые вариации или флуктуации деталей хода различных катастроф (то есть их точное время и место, точный характер повреждения и так далее). Происхождение этой вариации легко понять, поскольку очень большое количество независимых факторов, от которых зависят детали катастроф, флуктуируют так, что систематическая связь их с тем, что конкретный шофер может сделать, отсутствует.

Однако по мере увеличения количества рассматриваемых катастроф начинают выявляться новые свойства, так как обнаруживается, что единичные вариации стремятся взаимно погасить друг друга и начинают проявляться статистические повторяемости. Так, полное число катастроф в конкретном районе год от года вообще не изменяется сколько-нибудь значительно, а изменения, которые имеют место, часто обнаруживают правильную тенденцию. Более того, эта тенденция

может систематически изменяться при изменении конкретных факторов, от которых зависят катастрофы. Так, когда вводятся законы, карающие неосторожную езду и устанавливающие необходимость регулярного осмотра механических частей, шин и так далее, среднее количество катастроф в любом данном районе почти всегда обнаруживает определенную тенденцию к снижению. Для случая, когда конкретный шофер отправляется в конкретную поездку, вообще нельзя сделать очень определенных предсказаний относительно результатов, к которым ведут вышеуказанные мероприятия, поскольку имеет место огромное количество источников катастроф, которые еще не устранены; однако статистически, как мы видели, вариации конкретной причины образуют правильную и предсказуемую тенденцию следствий.

Описанный выше характер поведения объектов обнаруживается в очень широкой области действительности. Статистика применяется к изучению общества, используется в экономике, медицине и естествознании, а также во многих других областях знания¹. Во всех областях явлений, к которым применяется статистика, имеют место характерные нерегулярные флуктуации или вариации поведения индивидуальных предметов, событий или явлений, детали которых нельзя предсказать, исходя только из учета тех факторов, которые принимаются во внимание при решении данной проблемы. Все это сочетается с регулярными тенденциями поведения больших серий и совокупностей таких объектов, событий или явлений. Эти регулярные тенденции приводят к тому, что мы можем назвать *статистическими законами*, позволяющими делать приближенное предсказание свойств на длительный период или среднее поведение большой серии или большой совокупности единичных предметов, не делая при этом необходимым рассмотрение более широкого круга факторов, в котором нам нужно было бы учесть дополнительные причинные факторы, которые вносят вклад в управление деталями флуктуаций индивидуальных типов такого ряда совокупностей.

¹ Мы рассмотрим более детально некоторые из этих дальнейших применений в главе II, § 14.

Для несущественных факторов, лежащих вне заданного круга явлений, тенденция к флуктуациям, относительно не зависимым от событий, входящих в этот круг, оказывается столь распространенной, что ее можно сформулировать в виде принципа, а именно принципа неупорядоченности. Под неупорядоченностью мы понимаем как раз то, что эта независимость приводит к очень сложным флуктуациям этих несущественных факторов в широкой области возможностей, но таким, что статистические средние имеют правильное и приближенно предсказуемое поведение ¹.

Тогда ясно, что если мы знаем, что некоторая флуктуация вызвана случайными несущественными факторами, лежащими вне рассматриваемого круга причинных законов, мы знаем больше простого факта, состоящего в том, что рассматриваемые причинные законы не дают возможности осуществлять абсолютно точные предсказания; кроме того, мы знаем, что несущественные факторы породят сложные флуктуации, имеющие регулярные статистические тенденции. Например, рассмотрим проблему ошибок измерения, которую мы рассматривали в предыдущем параграфе. Такие ошибки обычно подразделяются на два класса: *систематические* и *случайные*. Систематические ошибки как раз вызываются внешними причинами, а не реальными случайными несущественными факторами, которые флуктуируют независимо от рассматриваемого круга причин. Для уменьшения систематических ошибок мы должны научиться лучше понимать и контролировать факторы, которые ведут к ошибкам. Случайная часть ошибки, однако, может быть сокращена путем усреднения все большего и большего количества измерений, так как, согласно хорошо известной теореме, действия случайных флуктуаций стремятся взаимно скомпенсироваться таким образом, что эта часть ошибки обратно пропорциональна квадратному корню из числа измерений. Это показывает, каким образом тот факт, что некоторое действие вытекает из случайных несущественных факторов имеет большее значение, чем тот факт, что причины,

¹ Более точное определение неупорядоченности см. в D. Bohm, W. Schutze, *Supplemento al Nuovo Cimento, Series X, n. 4.* p. 1004, 1955.

вызывающие эти действия, лежат вне круга факторов, рассматриваемых при решении данной проблемы. Кроме того, они имеют значение некоторой объективной характеристики неупорядоченности факторов, которые вызывают это действие.

Мы видим, что правильно говорить об объективно достоверных законах случая, которые говорят нам о стороне природы, не описываемой полностью одними причинными законами. Фактически законы случая столь же необходимы, как и сами причинные законы¹. Например, беспорядочный характер случайных флуктуаций в большом разнообразии ситуаций делается неизбежным за счет крайне сложного и многообразного характера внешних несущественных факторов, от которых зависят флуктуации. (Таким образом, как мы видели, при измерении возникают случайные ошибки практически неограниченного количества различного рода факторов, не зависящих существенно от количества измерений.) Более того, этот неупорядоченный характер флуктуаций очень часто является внутренне присущей и неотъемлемой частью нормального функционирования многих видов вещей и их способов бытия. Так, существование современного города в нормальных условиях невозможно, если отсутствует тенденция к взаимной компенсации флуктуаций уличного движения, потребностей в пище, одежде и так далее, времени болезни и смерти различных индивидуумов и так далее. Во всех областях мы обнаруживаем сходную зависимость от характерных действий случая. Так, при смешивании песка и цемента мы не отбираем тщательно песчинки и пылинки цемента, а перемешиваем песок и цемент вместе так, что получение однородной смеси зависит от случайности. В главе II, § 14 мы рассмотрим более сложные примеры, связанные с движениями атомов для того, чтобы получить частично с помощью учета взаимного погашения случайных флуктуаций, однородные и предсказуемые свойства в макроскопической области (например, давление, температура и так далее). Здесь мы увидим, что способ бытия материи в макроскопической области зависит от взаимного погашения слу-

¹ Таким образом, необходимость нельзя отождествлять с причинностью; она является более широкой категорией.

чайных флуктуаций, возникающих в микроскопической области.

Не только повторяющиеся отношения, вытекающие из тенденции к взаимному погашению большого количества случайных флуктуаций, являются важными, но при некоторых условиях может быть крайне важным даже тот факт, что возможно большее разнообразие флуктуаций. Ибо одна из наиболее характерных черт случайных флуктуаций состоит в том, что *в течение достаточно большого времени или в достаточно большой совокупности* в конечном счете может иметь место любая возможная комбинация событий или предметов, даже комбинации, которые на первый взгляд кажутся мало осуществимыми. В таком случае особенно существенными являются комбинации, выступающие в качестве результата некоторого необратимого процесса или некоторой качественно новой линии развития, потому что при их возникновении случайный процесс заканчивается и система неизбежно приобретает новое направление. В конечном счете достаточно хорошо «смешивая» или «сочетая» тип, связанный со случайными флуктуациями, мы можем в таких случаях предсказать конечный результат, часто с поразительной достоверностью.

Очень интересный пример свойства описанной выше случайности встречается в связи с современной теорией происхождения жизни, предложенной А. И. Опариним. Эта теория основана на следующей гипотезе: примерно миллиард или более лет тому назад атмосфера Земли содержала большое количество углеводов, аммиака и различных простых органических соединений, которые должны были образоваться путем комбинации этих веществ. Под действием ультрафиолетовых лучей, высокой температуры, электрических разрядов и каталитического действия различных неорганических веществ эти соединения должны были связываться и образовывать вещества со все более и более сложным молекулярным строением. По мере того как вода морей и воздух атмосферы перемешивались под влиянием бурь или иными способами должны были образоваться все виды случайных комбинаций этих соединений. В конце концов, спустя по меньшей мере сотни миллионов лет должно было стать возможным появление таких комбинаций, которые соответствовали простейшим возможным формам живой

материи. Однако в этот момент произошло качественное необратимое изменение, так как живая материя должна была начать воспроизводиться за счет окружающего органического материала (поскольку это является одной из основных характеристик, отличающих живую материю от неживой органической материи). С этого момента процесс уже должен был выйти из области чистого случая. Более того, по мере изменения условий живая материя должна была начать развиваться в согласии с законами превращений, уже достаточно детально изученных биологией, и в конце концов это должно было привести к возникновению многообразных форм жизни, существующих сегодня.

Теперь мы видим, сколь важна роль случайности. В течение достаточно большого отрезка времени могут появиться (и на самом деле даже неизбежно) все виды комбинаций вещей. Тогда в конечном счете наверняка будет иметь место одна из этих комбинаций, которая приводит в движение необратимые процессы или линии развития, которые ограждают систему от влияния случайных флуктуаций. Таким образом, одним из следствий случайности является помощь в «перемешивании вещей» так, чтобы стало возможным начало качественно новых линий развития.

§ 9. Теория вероятностей

Так же как и причинные законы были выражены более точно с помощью определенного математического аппарата (например, дифференциального исчисления), для выражения законов случая был развит характерный математический метод, известный под названием теории вероятностей. В настоящем параграфе мы кратко осветим вопрос о том, как возникла эта ветвь математики и какой она имеет смысл.

Исторически понятие вероятности сначала было четко сформулировано в связи с азартными играми. Хорошим примером их является игра в кости. Если мы будем рассматривать результаты каждого отдельного бросания кости, то обнаружим, что они будут нерегулярно флуктуировать от одного бросания к следующему характерным для случайных событий образом, подобным описанному в предыдущем параграфе. В результате

мы не можем предсказать, что будет получено при любом данном бросании, ни на основе результатов предыдущих бросаний, ни на основе чего-либо еще, что может быть конкретизировано в пределах данной игры. Однако, несмотря на невозможность предсказания вариации результатов каждого отдельного бросания, описанных выше, у игроков сложился обычай делать ставку на заданную комбинацию очков и предоставлять партнеру определенное преимущество, зависящее от рассматриваемой комбинации. Опыт показал, что, видимо, в соответствии с каждой возможной комбинацией существует возможность выигрышей, такая, что если игрок делает ставку на эти комбинации очков, то при длительной игре он не будет систематически ни выигрывать, ни проигрывать.

Самая первая проблема, которой занялись математики, обратившие свое внимание на этот предмет¹, состояла в нахождении теоретического подхода к вычислению благоприятных комбинаций. Например, для случая выпадения кости эта проблема была решена с помощью предположения о «равновероятности» выпадения всех шести граней каждой кости при каждом бросании. Так, вероятность того, что при бросании данной кости выпадет пятерка, равна $\frac{1}{6}$, и, поскольку кости «независимы», вероятность того, что пятерка выпадет на обеих костях, равна произведению отдельных вероятностей выпадения пятерки и равна $\frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$. Следовательно, отношение «неблагоприятных» выпадений к благоприятному в этом случае равно 36 : 1.

Хотя описанный выше метод решения проблемы, конечно, разрабатывался в связи с азартными играми, он включает в себя введение довольно туманного понятия равной «вероятности» или «равновероятности» различных возможных результатов бросания. Это понятие вначале содержало смесь двух очень различных толкований вероятности, которые мы можем назвать соответственно «субъективным» и «объективным». При последующем развитии предмета эти два толкования отделились друг от друга, и для более ясного представления об основных

¹ Среди первых математиков, анализирующих понятие вероятность, были Паскаль, Ферма, Бернулли и Лаплас.

идеях мы дадим здесь только более определенные толкования, которые развились позже.

При субъективном толковании вероятности предполагается, что вероятности представляют собой в некотором смысле неполную степень знания или информации о рассматриваемых событиях, предметах или условиях. Так, в случае игры в кости мы не располагаем методами надежной оценки результатов каждого индивидуального бросания (поскольку эти результаты определяются начальными положениями и скоростями различных частей кости при каждом бросании; на практике мы лишены возможности знать эти положения и скорости. Следовательно, если кости, так сказать, построены симметрично, у нас нет оснований отдать предпочтение выпадению одной грани перед выпадением другой, и поэтому мы связываем с каждой гранью равные вероятности. Тогда с этой точки зрения вероятность рассматривается как нечто, измеряющее или отражающее степень наших сведений, так что она является сугубо субъективной категорией, которая утратила бы необходимость или даже смысл, если бы мы смогли точнее узнать начальное движение костей при каждом бросании.

Вышеприведенное толкование вероятности как не представляющее ничего большего, чем наши собственные размышления при условиях, в которых мы не располагаем полным знанием, тем не менее является неправильной трактовкой существенной стороны проблемы — что мы понимаем под вероятностью, — так как оно вовсе не дает представления о том, почему вероятность можно использовать для получения приближенных предсказаний о действительной *относительной частоте*, с которой появится данная грань кости после большого числа бросаний. Таким образом, просто факт того, что у нас нет оснований отдавать предпочтение выпадению одной грани перед выпадением другой, сам по себе не говорит о том, что относительные частоты для всех возможных результатов приблизительно равны. Действительно, из того, что мы вовсе ничего не знаем о начальных движениях костей во время их бросания, можно лишь сделать вывод, что мы совершенно ничего не знаем о том, какие конечные результаты получатся не только для каждого отдельного бросания, но *также*

для произвольно большей серии бросаний. Ибо именно в поведении вещей, относительно начальных движений которых мы ничего не знаем, видимо, могла бы существовать скрытая тенденция к преобладанию одного результата над другим. Наоборот, даже если мы как-то смогли узнать начальные условия перед каждым отдельным бросанием, это не изменило бы факта того, что в типичной серии эти условия при большем числе бросаний в среднем распределены так, что это приводит к примерно равным относительным частотам появления каждой грани. В результате теория вероятностей могла бы в таких случаях дать хорошее приближенное значение относительных частот, которые должны были бы быть предсказаны с помощью полного знания начальных условий, определяющих каждое отдельное событие.

Тогда, очевидно, применимость теории вероятностей к естественно-научным и другим статистическим проблемам в других науках не имеет существенного отношения ни к нашему знанию, ни к нашему незнанию. Скорее она зависит лишь от объективного существования определенных повторяемостей, характерных для рассматриваемых систем и процессов, повторяемостей, которые подразумевают, что усредненное поведение больших совокупностей предметов или событий является относительно не зависимым от точных деталей, которые строго определяют, что случится в каждом отдельном случае.

На основе вышеприведенных рассуждений мы затем приходим к истолкованию вероятности, например данного результата при бросании кости как объективного свойства, связанного с используемыми костями и процессом их бросания, свойства, которое может быть определено независимо от того, достаточно или недостаточно мы знаем для предсказания того, что случится при отдельном бросании. Значение этого свойства состоит в том, что при большом количестве бросаний в среднем относительная частота, с которой будет выпадать данный результат, будет флуктуировать около значения, которое стремится к его вероятности. В таком случае это представляет собой концепцию вероятности, которая имеет отношение к статистическим проблемам, возникающим в научных исследованиях и других областях.

Конечно, обычно используемое слово «вероятность» имеет также субъективное значение описания того, сколь склоняемся мы в пользу данного вывода или заключения, сделанного на основе, может быть, неполного знания. Однако этот смысл не имеет существенного отношения к процедуре, с помощью которой мы используем теорию вероятностей в науке и других областях для получения приближенных предсказаний об относительных частотах различных комбинаций предметов и событий, которые встречаются в статистических совокупностях, без необходимости строгого учета того, что происходит с каждым элементом совокупности.

Для того чтобы понять более детально происхождение усредненных повторяемостей, при большем числе опытов, лежащих в основе применимости теории вероятностей к игре в кости (и к другим азартным играм), необходимо лишь заметить, что в таких играх имеются все условия для применимости понятия случайности и понятия статистического закона, возникающего как результат существования случайности, что и рассмотрено в предыдущем параграфе. Так, если кость бросается с соответствующей высоты, то до конца падения она успеет перевернуться один или более раз. Грань, на которую она падает, будет значительно зависеть от начальных условий движения, поэтому небольшие вариации этих условий могут изменить любой конечный результат. Более того, человеческое тело, от движений которого зависят начальные условия, является очень сложной системой, функционирование которой зависит от огромного количества флуктуирующих факторов различного рода. Таким образом, вполне понятно, что при большом числе бросаний начальные движения, передающиеся от руки к кости, флуктуируют достаточно сильно для того, чтобы заставить окончательные результаты варьироваться во всей области появляющихся возможностей. И, поскольку множество факторов в человеческом теле существенно не зависит от начальных ориентаций кости, не удивительно, что при большем числе бросаний в среднем обнаруживается тенденция к преимущественному появлению какой-либо грани во время флуктуаций, так что отдельные бросания флуктуируют в среднем, в то время как в неупорядоченных относительных частотах, с которыми выпадает каждая грань, по-

являются статистические повторяемости. Таким образом, мы получили именно род зависимости рассматриваемых результатов от неупорядоченно флуктуирующих и независимых несущественных факторов, находящихся вне рассматриваемой совокупности, которая, как мы видели в предыдущем параграфе, является характерной для случайных явлений.

С помощью понятия вероятности оказалось возможным развить широкую математическую теорию, которая сводит выражение для вероятностей сложных комбинаций событий к вероятностям более простых событий. Эта теория оказалась полезной во многих областях, где существуют предметы или события, зависящие от случайных несущественных факторов, имеющих место вне рассматриваемого круга факторов. В процессе применения этой теории тем не менее следует помнить, что, как указано в § 1, причинные законы и законы случая *все вместе* определяют действительное развитие вещей так, что какие-то из них являются наилучшим частным и приближенным представлением реальности, которое в конце концов должно быть исправлено с помощью другого.

§ 10. *Общее рассмотрение законов природы*

Теперь мы подведем краткий итог существенных характеристик законов природы, проявлявшихся в различных областях действительности, приведенных в качестве примеров в настоящей главе, с помощью чего мы сможем заглянуть глубже в общую структуру этих законов.

При изучении законов природы мы прежде всего рассматривали процессы, в ходе которых одна вещь возникла из других вещей и вела к появлению других вещей. Сейчас этот процесс нельзя изучить во всей его полноте, которая неисчерпаема как с точки зрения его количественных сторон, так и с точки зрения сложности деталей его хода. Однако человеческий опыт, передававшийся через общую культуру даже еще до начала цивилизации, а также опыт многих поколений ученых подтвердил тот факт, что можно изучить приближенно части вышеописанных процессов в конкретных условиях

и в ограниченном круге событий. Это возможно потому, что существует объективная, но относительная независимость поведения этих различных частей процессов в отношении любого частного круга процессов¹.

Когда мы изучаем любую частную совокупность процессов внутри одного из относительно независимого круга процессов, то мы обнаруживаем, что определенное отношение остается постоянным в широкой области изменений детального поведения вещей, входящих в этот круг. Такое постоянство истолковывается не как совпадение, а, скорее, как объективная необходимость, внутренне присущая природе изучаемых нами вещей. В таком случае эти необходимые отношения являются проявлениями *причинных законов*, применимых для рассматриваемого круга отношений. Эти законы не должны определять данное действие *однозначно*. Напротив, они могут (в случае одно-многозначных отношений) лишь *предопределять* действие в пределах конкретной области возможностей.

С другой стороны, действительный опыт показывает, что необходимость причинных отношений всегда ограничена и обусловлена несущественными факторами, появляющимися вне круга отношений, в котором действуют рассматриваемые законы. Эти несущественные факторы удовлетворяют определенным специфическим законам: то есть законам случая, приближенное математическое выражение которых дается теорией вероятностей.

Конечно, расширяя круг отношений, мы можем видеть, что, каковы бы ни были случайные несущественные факторы в более узком круге, в более широком круге можно ожидать присутствия результатов необходимых причинных связей. Но тогда необходимые причинные связи подвержены влиянию еще более новых несущественных факторов, вытекающих из еще более широкого круга. Таким образом, мы никогда не сможем исключить несущественные факторы. Скорее, категории необходимой причинной связи и случайных несущественных факторов, видимо, представляют две стороны лю-

¹ Причины этой независимости будут рассмотрены подробнее в главе V. Некоторые из них мы уже привели в связи с рассмотрением одно-многозначных и много-однозначных законов в § 7 настоящей главы.

бых процессов. Тогда для рассмотрения только одной из этих сторон мы всегда прибегаем к приближению, которое нельзя применять неограниченно, а которое должно в конце концов исправляться и дополняться учетом другой стороны.

Две стороны процессов природы проявляются в связи со статистическими законами. Рассматриваемый с точки зрения случайных несущественных факторов статистический закон является повторяемостью, возникающей из взаимной компенсации случайных флуктуаций в больших совокупностях предметов или событий. Но мы можем принять противоположную точку зрения, рассматривая все количество всех объектов или событий в статистической совокупности как единое целое. В этом случае статистические законы выступают в качестве приближенных причинных законов, которые применяются к этому новому виду сущности. Таким образом, мы опять видим, как одни и те же явления могут рассматриваться с какой-либо стороны в зависимости от рассматриваемого круга отношений.

Кроме двустороннего характера необходимости и несущественности, законы природы обнаруживают богатство структуры более общего характера. Таким образом, рассматривая причинные законы, абстрагированные от несущественных факторов, мы прежде всего получаем последовательно различные уровни приближения, каждый из которых включает в себя качественно отличные виды причинных факторов. Даже выбирая лишь существенные причины, которые заметно меняются в интересующих нас условиях, мы еще имеем возможность выбора одно-многозначных, много-однозначных и одно-однозначных законов. Среди одно-многозначных сторон причинных законов должен быть рассмотрен факт того, что каждый закон связан с определенной ошибкой. Эта ошибка в сущности возникает не из-за недостатка наших знаний, но, скорее, вследствие пренебрежения объективными факторами, существующими вне круга исследований. Даже если мы знаем кое-что об этих факторах и могли бы учесть их, переходя к более широкому кругу, это не изменило бы того, что существует закон, применимый в более узком круге и который содержит ошибку; последняя могла бы проявиться при сравнении предсказаний законов более

узкого круга с предсказаниями законов более широкого круга. Тогда мы получаем много-однозначные законы (например, качественные отношения, статистические отношения, законы термодинамики и так далее), которые до некоторой степени справедливы объективно независимо от широкой области деталей. Наконец, существуют одно-однозначные отношения, которые являются абстракциями, приближенно применимыми во многих случаях, когда можно пренебречь много-однозначным и одно-многозначным характером законов. Конечно, все эти виды законов сплетаются в единую ткань законов, как и должно быть, поскольку в конечном счете они применяются к различным сторонам одних и тех же совокупностей процессов.

Тогда, если мы не абстрагируемся от несущественных факторов, мы должны рассмотреть законы случая, отражающие все богатство структуры причинных законов, как и должно быть, поскольку они относятся как раз к противоположной стороне одних и тех же процессов. Действительно, взаимосвязи между различными возможными видами закона являются разнообразными и сложными, включая в себя законы, отражающие законы, законы внутри законов (то есть даже более высокие уровни точности) и законы, которые содержат в себе другие законы как предельные и частные случаи. (Например, теория относительности содержит ньютоновскую механику как предельный случай, когда скорость мала по сравнению со скоростью света.) Более того, эта структура в целом является объективным и необходимым следствием самого характера этих законов и как раз не является частным следствием нашего способа мышления о вещах.

Мы можем сравнить структуру всего количества законов природы с предметом, имеющим очень большое число (в действительности бесконечное) сторон, имеющим грани внутри граней, грани, отражающие грани, грани, состоящие из мозаики граней и так далее. В таком случае для того, чтобы узнать, что представляет собой предмет, мы должны сделать большое количество проекций и разрезов. Тогда каждая проекция или разрез способствует нашему пониманию многих сторон предмета. Однако отношения между проекциями одинаково важны, так как они служат для исправления

ошибок, которые возникают в результате рассмотрения одного или ограниченного числа проекций в качестве полного представления о целом предмете; и они также указывают на качественно новые свойства, не очевидные в отдельных проекциях (как две плоские проекции сцены, полученные при различных углах, позволяют нам сделать вывод об ее трехмерности). Тогда мы видим, что, в то время как каждая проекция и каждый разрез могут изменяться в зависимости от нашего собственного отношения к предмету, мы можем все больше и больше приближаться к представлению о реальной природе предмета, рассматривая все больше и больше проекций и разрезов и их соотношения. Тогда по мере увеличения количества проекций и разрезов это представление становится все менее и менее зависящим от нашего собственного отношения к предмету.

Продолжая нашу аналогию дальше, мы можем сказать, что по отношению к совокупности всех законов природы мы никогда не будем иметь достаточное количество проекций и разрезов, которые дадут нам полное представление об этой совокупности. Но по мере развития науки и новых теорий мы можем видеть предмет со все большего и большего числа различных сторон, что позволит все лучше и подробнее его понимать. Каждая частная теория, или объяснение данного ряда явлений будет тогда справедлива в ограниченной области и будет точна только в ограниченном круге явлений и при ограниченных условиях. Это означает, что любая теория, экстраполированная на произвольный круг явлений и на произвольные условия, приведет (подобно частному виду нашего предмета) к ошибочным предсказаниям. *Нахождение таких ошибок является одним из наиболее важных средств прогресса науки.* Однако новая теория, к которой в конечном счете приведет обнаружение таких ошибок, не сделает более старые теории неверными. Скорее, делая возможным рассмотрение более широкой области явлений, оно исправляет более старые теории в областях, в которых они не являются точными, и, таким образом, помогает определить условия, в которых они являются состоятельными (например, так же как теория относительности исправила ньютоновские законы движения и, таким образом, помогла установить условия справедливости

законов Ньютона, как законов, которые верны, когда скорость мала по сравнению со скоростью света). Таким образом, мы не считаем, что любое причинное отношение будет представлять собой *абсолютную истину*, так как для этого они должны быть применимы *неприближенно и безусловно*. Скорее, тогда мы видим, что ход прогресса науки проходит и проходил через ряд все более фундаментальных, все более широких и более точных представлений о законах природы, каждое из которых вносит вклад в определение условий справедливости более старых представлений (так же как более широкие и более всесторонние рассмотрения нашего предмета вносят вклад в определение ограничений любого частного рассмотрения или ряда рассмотрений).

На любой конкретной стадии развития науки наши представления о причинных отношениях тогда будут истинны лишь относительно некоторого приближения и некоторых условий. Фактически именно по этой причине возможно столь большое многообразие видов объяснений и теорий, применимых к одному и тому же ряду явлений. Каждая другая теория или объяснение сосредоточивает внимание на определенной стороне законов природы, важной для определенных условий, и рассматривает эту сторону с некоторой степенью приближения. Но, *поскольку различные теории и объяснения относятся к одной и той же области и являются приближенными, они должны согласовываться между собой*. Следовательно, возможность столь большого числа объяснений и теорий для одного и того же ряда явлений не следует понимать в том смысле, что законы природы являются произвольными или условными правилами, которые могут быть изменены по нашему вкусу или так, как это будет удобно для нас при рассмотрении различных проблем. Скорее, она является просто следствием бесконечного богатства реальных отношений, существующих в процессах природы и нашей необходимости выразить частную сторону этих бесконечно богатых отношений через конечное количество законов, основанных на экспериментах и наблюдениях, выполненных в течение конкретного отрезка времени, которые могут точно отразить лишь ограниченную часть всего бесконечного множества, существующего в природе.

§ 11. Заключение

В заключение следует пояснить, что существование законов природы, о чем мы говорили в этой главе, имеет величайшее значение для всех отраслей науки.

Однако, кроме того, возможности науки также зависят от конкретной структуры законов природы (например, существования много-однозначных и одно-многозначных законов, а также и других характеристик, которые описаны в главе V), для которых существуют относительно независимые круги отношений. Эти последние могут быть изучены отдельно с некоторой степенью приближения, причем в начале изучения не требуется знать все обо всем с идеальной точностью. В частности, эта характеристика причинных законов является объективным фактором, определяющим предметы различных наук, а также представления и методы для каждой конкретной науки. Тогда для данной науки это свойство законов природы делает возможным существование различных отраслей, областей и уровней, каждая из которых имеет приблизительную независимость. Однако, поскольку законы природы подразумевают наличие как некоторого рода взаимосвязи всех сторон мира, так и свою приблизительную независимость, это означает, что более широкие исследования, выполненные в более широких областях или кругах явлений, позволяют показать наличие отношений между различными отраслями, областями и уровнями данной науки и между многообразием различных наук, а также проникнуть в новые области, до сих пор еще не известные или не исследованные.

Г л а в а II

ПРИЧИННОСТЬ И СЛУЧАЙНОСТЬ В КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ. ФИЛОСОФИЯ МЕХАНИЦИЗМА

§ 1. Введение

Предыдущая глава была посвящена общему рассмотрению причинности и случайности. Сейчас мы приступим к более или менее обстоятельному показу того, как эти категории проявляются в классической физике (которая, грубо говоря, представляет этап в развитии физики, в период между XVI и XIX веками включительно). Этот предмет представляет значительный интерес не только сам по себе, но и находится в тесной связи с вопросами, касающимися применимости понятия причинности, возникшими в XX веке в связи с квантовой теорией, поскольку, как мы увидим в последующих главах, недостаточность в микроскопической области механистической формы детерминизма, к которой свели причинность сторонники классической физики, способствовала возникновению очень сильной реакции в противоположном направлении и, таким образом, явилась основанием того, что современные физики впали в противоположную крайность полного отрицания причинности на атомном уровне. Поэтому сейчас стоит весьма тщательно выяснить, каковы же были понятия причинности и случайности в классической физике и каковы же были проблемы, возникшие в связи с применениями этих понятий. Затем в последующих главах, и особенно в главе V, мы подвергнем критике механистическую точку зрения и разовьем детально более общую точку зрения, при которой описанные выше проблемы не возникают.

§ 2. Классическая механика

В основе важнейших успехов физики между XVI и XIX вв. лежала очень общая, очень разносторонняя и очень четко сформулированная теория, обычно называемая *классической механикой*, которая прежде всего относится к законам, определяющим движение тел в пространстве. На ранних стадиях развития (например, во времена древних греков) законы механики обычно имели расплывчатую и качественную форму¹. Однако после работ Галилея и других тенденция к выражению законов физики (и до некоторой степени химии и других наук) в точной количественной форме начала приобретать очень большое значение. Это стремление к количественной точности выражения физического закона продолжало расти и впервые достигло полного развития в ньютоновских законах движения. Эти законы, устанавливающие, что ускорение тела прямо пропорционально силе, действующей на него, и обратно пропорционально его массе, выражены математически с помощью дифференциального уравнения

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2},$$

где \vec{x} — вектор положения тела, \vec{F} — сила, действующая на тело, а m — его масса.

Из ньютоновских законов движения вытекает, что будущее поведение системы тел полностью и точно детерминировано для всех моментов времени начальными положениями и скоростями всех тел в заданный момент времени и силами, действующими на тела. Эти силы могут быть *внешними силами*, которые возникают вне исследуемой системы, или они могут быть *внутренними силами* взаимодействия между различными телами, составляющими рассматриваемую систему.

Во многих проблемах внешние силы малы настолько, что ими можно пренебречь (т. е. система может рассматриваться как изолированная), в то время как внутренние силы можно представить исключительно в виде функций положений и скоростей центров масс тел.

¹ Некоторые точные выражения законов статики уже были получены древними греками (например, Архимедом), но законы механики вообще были сформулированы совершенно расплывчато и в большинстве случаев неправильно.

В частности, это приближение вполне приемлемо для проблемы движения планет вокруг Солнца. В таком случае законы Ньютона определяют будущие движения тел лишь через положения и скорости тел в заданный момент времени. Таким образом, они составляют совокупность «одно-однозначных» причинных отношений типа, описанного в главе I, § 7, поскольку данная полная совокупность причин (т. е. начальных положений и скоростей каждого тела) однозначно определяет полный набор действий (т. е. последующих положений и скоростей каждого тела).

Однако, вообще говоря, в действительности не существует полностью изолированных систем и силы взаимодействия в действительности никогда не выражаются через положения и скорости центров массы тел. Так, даже в астрономии изоляция солнечной системы не является абсолютной. Некоторое влияние на нее оказывают удаленные звезды, хотя и очень незначительное, а из межзвездного пространства в солнечную систему могут случайно войти кометы и даже вызвать возмущения в движении планет по орбитам. Аналогично существует небольшое приливное трение, приводящее к тому, что движение планет в некоторой степени зависит от конфигурации материков, водных масс и других жидкостей на планетах, и заставляющее планеты медленно приближаться к Солнцу, а Луну — к Земле. В любых других проблемах можно обнаружить, что система никогда не является полностью изолированной и в действительности никогда нельзя выделить тела, для которых внешние движения полностью не зависят от внутренних движений¹. Таким образом, вообще говоря, полная совокупность причин, необходимых для однозначного определения будущих движений, должна включать и начальные положения, и скорости тел, и различные силы, как внешние, так и внутренние, действующие на тела.

§ 3. Философия механицизма

Ясно, что законы движения Ньютона представляли огромный прогресс в формулировке причинных связей в механике как науке, ибо вместо грубых и качествен-

¹ В этой связи см. § 13 настоящей главы.

ных законов механики, являвшихся характерными для древнего и средневекового периода, законы Ньютона несомненно представляют собой фундаментально новые виды закона, дающие возможность производить точные количественные предсказания, которые допускают значительно более точные критерии закона и служат в качестве удобных точных руководящих принципов при наших попытках изменять или регулировать поведение механических систем.

Однако очень большая точность законов Ньютона привела к новым проблемам философского порядка. Поскольку было обнаружено, что законы находят подтверждение во все более широких областях, стала развиваться идея об их *универсальной* справедливости. Одним из первых ученых, развивших выводы из этого предположения до их логического конца, был Лаплас, живший в XVIII в. Лаплас предположил, что *вся вселенная* состоит лишь из тел, движущихся в пространстве, движение которых подчиняется законам Ньютона. Однако, поскольку силы, действующие между этими телами, не были известны полностью и точно во всех случаях, он предположил также, что в конечном счете эти силы можно узнать с помощью соответствующих экспериментов. Это означало, что, если бы для какого-либо момента времени были заданы положения и скорости всех тел, будущее поведение всего во всей вселенной было бы определено для всех моментов времени. Затем Лаплас представил себе сверх-существо, которое знало бы все эти положения и скорости и которое могло бы вычислить с абсолютной точностью все, что должно случиться во вселенной. Таким образом, для этого существа никогда в мире не могло произойти ничего неожиданного, поскольку все, даже в бесконечно отдаленном будущем, что могло каким-то образом случиться, должно было быть предопределено и, конечно, определено для всего прошлого до бесконечности.

Здесь мы сталкиваемся с интересными и важными новыми достижениями, поскольку в той мере, в какой ньютоновские законы движения применяются к ограниченной системе или области, они просто образуют основу науки *механики*, которая выражает в строгой математической форме причинные законы, применимые для этой конкретной системы или области. Сформулированная

таким образом механика, конечно, не заключает в себе необходимо *полностью* детерминированное предсказание будущего поведения *всей вселенной*, так как, кроме того, что мы рассматриваем только конкретную механическую систему со степенью приближения, которая, вообще говоря, должна быть ограниченной, мы должны также рассмотреть возможность того, что в новых областях явлений или в новых условиях, еще не изученных в физике, могут оказаться необходимыми более новые и более детальные выражения законов природы, выражения, которые не могут быть даже возможны в общей математической и физической схеме, лежащей в основе ньютоновских законов движения. Таким образом, заключение о том, что во всей вселенной не существует ничего, что не укладывается в общую теоретическую схему, связанную с ньютоновскими законами движения, имеет смысл не необходимо следующий из самой механики как науки, а, скорее, из *неограниченного* распространения этой науки на все возможные совокупности условий и области явлений. Тогда очевидно, что такое распространение прежде всего основано не на том, что является научно достоверным. Наоборот, оно в значительной мере является следствием *философской* точки зрения о природе мира, точки зрения, которая с тех пор стала известной под именем механицизма.

Как мы увидим в настоящей главе и в других разделах книги, механистическая философия с развитием науки принимала много конкретных форм. Однако, по видимому, по мнению автора, самыми существенными сторонами этой философии являются предположения о том, что все большее многообразие вещей, фигурирующих во всем нашем опыте, как повседневном, так и научном, может быть полностью и абсолютно сведено лишь к следствиям действия абсолютной и конечной совокупности чисто количественных законов, определяющих поведение нескольких видов основных сущностей или переменных. Однако в этой связи следует подчеркнуть, что одно использование чисто количественной теории само по себе не означает механистической точки зрения, если допускается, что такая теория может быть неполной. Следовательно, механицизм не может быть характеристикой какой-либо теории, а, скорее, как мы уже выше констатировали, он может быть философской позицией,

с которой эта теория рассматривается. Таким образом, было бы бессмысленно сказать, например, что ньютоновская механика является механистической; но имеет смысл сказать, что конкретный ученый (например, Лаплас) занял механистическую позицию по отношению к этой теории.

Первой известной формой механицизма явилась атомистическая философия Демокрита и Левкиппа¹, в которой предполагалось, что все во вселенной может быть сведено исключительно к действиям движения атомов в пространстве. Идея, лежащая в основе лапласовского детерминизма, была в принципе той же идеей, однако с добавлением предположения о том, что движения этих атомов подчиняются законам Ньютона, так что в принципе возможно точно вычислить будущее поведение вселенной. Тогда с этой точки зрения все различные качественные свойства, проявляющиеся в большом масштабе, такие, как твердость, текучесть, цвет, структура и т. д., рассматриваются как чисто субъективные категории, поскольку они не проявляются в основных законах и выступают лишь как вспомогательные представления, удобные для использования в нашем рассуждении о порядке и движениях совокупности молекул. Фундаментальными свойствами, которые являются объективными, а не результатом наших конкретных методов рассмотрения вещей, предполагаются основные количественно конкретизируемые свойства атомов: их положения, скорости, размеры, формы, массы, законы их взаимодействия и т. д.

В этой ранней форме механистической философии основные элементы, из которых, по предположению, построен мир, в действительности мыслились как механические части, каждая из которых занимает свое место

¹ Утверждение автора о том, что первой формой механицизма являлась философия Левкиппа и Демокрита с историко-философской точки зрения неточно. Материализм Левкиппа и Демокрита принадлежит к разновидности наивного материализма. Наивный материализм как первая форма материализма складывался в тот период, когда имелись только элементы научных знаний, поэтому он в своей основе еще не опирался на какую-либо вполне сложившуюся и оформившуюся область научного знания.

Механицизм как философская концепция возник в период, когда механика и математика были вполне развитыми науками. — *Прим. ред.*

Во всемирном механизме (который работает без трения вследствие того, что законы классической механики предполагают сохранение механической энергии). Природа этих частей жестко зафиксирована, не определяется тем окружением, в котором они расположены и не изменяется в результате действия других частей. В этом смысле всемирный механизм, работающий без трения, является идеализацией известных нам машин, так как последние не работают без трения и различные их части подвергаются действиям других частей (например, они ломаются, изнашиваются и т. д.).

Как мы увидим в дальнейших главах, философия механицизма в конце концов превратилась в очень серьезный тормоз дальнейшего развития науки. Тем не менее в свое время она представляла огромный шаг вперед от схоластической формы аристотелевской философии, господствовавшей в средние века, так как в схоластической философии каждая различная вещь и каждое различное свойство и качество вещей мыслилось как отдельное и полностью отличное от всех других. Так, научные исследования, направления которых определялись этой философской точкой зрения, состояли в основном в распределении вещей по различным системам классификаций, которые рассматривались как вечные и неизменные по своей природе. Однако механистическая философия давала основание полагать, что в основе всего этого разнообразия и несходства внешних произвольностей качеств лежит совокупность простых и рационально понимаемых универсальных механических процессов. Эти процессы объясняли, почему вещи принимают различные конкретные формы и почему они претерпевают конкретные превращения, причем объяснение допускало в принципе полный расчет и проверку, и что на практике это могло быть рассчитано и проверено с определенной степенью приближения.

Таким образом, механистическая философия представляла собой значительно более *единую* и *динамическую* точку зрения на вселенную, чем точка зрения, существовавшая в средние века. Эта точка зрения позволила ясно увидеть тесные связи, существующие между широким кругом проблем, которые в схоластической философии даже и не рассматривались (например, точное пред-

сказание влияния одной планеты на движения других, определение траекторий полета артиллерийских снарядов и т. д.).

§ 4. Развитие классической физики по пути отхода от механицизма

Даже во время наибольших триумфов механицизма физика начала развиваться по новым направлениям, стремясь выйти из рамок общих представлений, которые связывались с первоначальной формой механистической философии. Наиболее важными были достижения, связанные с формулировкой основных законов электромагнитного поля, с разработкой кинетической теории газов, с началом использования статистических объяснений законов термодинамики и других макроскопических свойств вещества, а не с объяснениями, основанными на полной детерминированности, которые ранее были в физике идеалом.

Хотя ни одно из этих достижений не находилось в полном противоречии с механистической точкой зрения, каждое из них показывало необходимость прогрессивного обогащения основных представлений и качеств, нужных для выражения законов физики как целого. Необходимость такого обогащения неоднократно могла бы в принципе уже дать физикам основание полагать, что их основная философская точка зрения фактически не является достаточной для понимания природы как целого. Конечно, на деле этого не происходило, потому что физики шли на различные натяжки, компромиссы, а также распространяли свои представления за рамки их применимости, предполагая каждый раз, что наконец-то они достигли окончательной общей схемы представлений и системы основных качеств и движений, которые позволили бы им раз и навсегда найти выражение для абсолютных и окончательных законов физики. Таким образом, они смогли сохранить существенно механистическую точку зрения, несмотря на многие изменения, происшедшие в основной формулировке физических законов.

В оставшейся части настоящей главы мы теперь достаточно детально изложим эти более поздние достижения, стараясь отчетливо выявить, как именно механистическую философию можно приспособить для трактовки

этих достижений. Дальнейшей критикой механистической философии мы займемся в последующих главах, особенно в главе V, где мы предлагаем иную точку зрения.

§ 5. Волновая теория света

Одним из первых новых достижений в физике, которое способствовало созданию основы для отхода от механицизма, была волновая теория света. Это достижение было важно по двум причинам: во-первых, потому, что оно способствовало возникновению теорий поля (которые будут рассмотрены в § 6), и, во-вторых, потому, что оно повлекло за собой возникновение совокупности представлений,

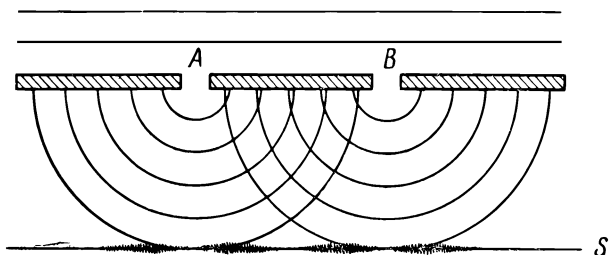


Рис. 1.

влений, которые оказались исключительно важными в связи с квантовой теорией (которая будет рассмотрена в главе III).

Во времена Ньютона не было известно, состоит ли свет из маленьких частиц, очень быстро движущихся по прямым линиям (за исключением случаев, когда они отражаются или преломляются материальными телами), или он имеет форму волнового движения. Однако постепенно накапливались доводы, дающие основание полагать, что свет является формой волнового движения. Наиболее важный из этих доводов вытекал из экспериментов, показывающих существование интерференции. Параллельный луч света падает на щель A (см. рис. 1). Часть света проходит сквозь щель и достигает экрана S. Затем открывается вторая щель B. Тогда, если свет состоял бы из потока маленьких частиц, область на экране между щелями A и B была бы вся освещена более интенсивно, чем в случае, когда была бы открытой одна

щель *A*, так как к этим частицам света, достигающим экрана из щели *A*, нужно добавить частицы, приходящие из щели *B*.

С другой стороны, в действительности на экране обнаруживается набор чередующихся между собой светлых и темных полос, расположенных весьма близко друг от друга. Полосы исчезают при закрывании одной из щелей. Это показывает, что, когда свет из щели *A* и из щели *B* приходит вместе, конечным результатом может являться отсутствие света. Такой результат было бы очень трудно понять, если бы свет состоял просто из частиц. Однако это легко понять, если предположить, что свет является формой волнового движения, так как в определенных точках на экране волны, приходящие из щели *A*, могли бы гасить волны, приходящие из щели *B*, образуя темноту, а в других точках они могли бы складываться, приводя к увеличению освещенности. Волновая теория количественно объясняет не только этот эксперимент, но и большое количество других. Она также позволила вычислить длину этих волн, которая была найдена равной 5×10^{-5} см. Очень короткая длина этих волн объясняла, почему обычно кажется, что свет распространяется по прямым линиям и ведет себя так, как будто бы он состоит из частиц. Аналогично можно рассмотреть волны на воде. Очень короткие водяные волны будут остановлены барьером, который имеет значительно большую длину, чем длина волн. Но волна, значительно более длинная, чем барьер, обойдет его. Свет обнаруживает сходное поведение. Так, если очень тонкую проволоку освещать светом, источник которого удален, контуры проволоки будут казаться размытыми. Это явление известно под названием дифракции. Но, если мы возьмем большой предмет, например дом, отклонением световых волн при прохождении их у края дома можно пренебречь, и свет по существу идет по практически прямой линии, как если бы он состоял из маленьких частиц, движущихся по прямой линии.

Если свет состоит из волн, то возникает вопрос: «Как переносятся эти волны?» Поскольку свет передается через вакуум, ясно, что световые волны не переносятся какой-либо материальной средой, как волны на воде и звук. Мы рассмотрим этот вопрос далее в § 7 после того, как обсудим в § 6 полевые теории.

§ 6. Полевая теория

Сейчас мы уже подготовлены к рассмотрению развития первого важного нового типа причинного закона, возникшего в течение XIX в., а именно закона полевой теории.

Напомним, что в ньютоновской механике всегда постулировалось, что все состоит из тел, взаимодействующих по конкретному закону. Знание положения и скоростей тел в данной изолированной системе позволяет тогда нам предсказывать все движения, происходящие внутри этой системы. Но в XIX и начале XX вв. постепенно становилась ясной необходимость рассмотрения новых видов причинных факторов, так как было найдено, что для сформулирования законов электричества и магнетизма ньютоновская схема тел не является достаточной. Однако оказалось возможным рассматривать эту проблему, вводя дополнительно к телам новую совокупность сущностей, известных под именем электрического и магнитного полей. В то время как способ бытия тел требует, чтобы они были локализованы в некоторой определенной области пространства, поля мыслились как *непрерывно распределенные* по пространству в целом. Однако предполагалось, что в каждой точке пространства и в каждый момент времени компоненты электрического и магнитного полей имеют определенные значения. Значения компонент электрического поля в данной точке определялись как сила, которая бы действовала на единичный электрический заряд, расположенный в рассматриваемой точке, а значения компонент магнитного поля были определены как сила, которая действовала бы на единичный магнитный полюс в этой точке.

Пока поля являются статическими, электрическое и магнитное поля остаются явно отличными и независимыми друг от друга. Однако, когда поля изменяются во времени, появляются новые характерные явления. Например, если электрические заряды находятся в движении, мы получаем электрический ток и связанное с ним *магнитное* поле. Аналогично движущийся магнит порождает электрическое поле. Таким образом, электрическое и магнитное поля не являются независимыми сущностями, а, скорее, каждое из них в некоторой степени обуславливает другое. Действительно, эксперименты

Фарадея обнаружили ряд точно конкретизированных количественных соотношений между магнитным и электрическим полями. Максвелл, отчасти основываясь на этих экспериментах, позднее расширил найденные Фарадеем соотношения и разработал систему дифференциальных уравнений в частных производных, известных ныне под названием уравнений Максвелла. Эти уравнения определяют изменение полей через значение величин поля в каждый момент времени и через движения всех заряженных тел в системе. Но, поскольку электрическое и магнитное поля порождают силы, действующие на тела, ясно, что поля и тела взаимно определяют друг друга. Тогда объединенные законы (уравнения Ньютона для тел плюс уравнения Максвелла для полей) образуют единую и расширенную систему основных причинных законов, более общих, чем законы Ньютона, которые, напомним, были написаны лишь для движения тел. Таким образом, полные причинные законы тогда охватывают как тела, так и поля.

Полевая теория Максвелла привела ко многим новым предсказаниям, которые позднее были проверены экспериментально. Одним из наиболее важных предсказаний явилось предсказание возможности существования волн, то есть колебания амплитуды электрического и магнитного поля, такого, как и колебание высоты поверхности воды при существовании на ней волн. Из уравнений Максвелла было выведено, что эти волны должны распространяться с определенной и предсказуемой скоростью, которая могла быть вычислена на основе величин, получавшихся из измерений, уже проведенных в связи с изучением электрических и магнитных полей. Когда была определена ее величина, оказалось, что предсказанная скорость этих электромагнитных волн в пределах экспериментальной ошибки равна измеренной скорости света. Что свет представляет собой волны, — это уже дали основание полагать эксперименты по интерференции; но теперь теория Максвелла пошла дальше, так как, предсказав скорость света на основе одних измерений, проведенных в опытах по электричеству и магнетизму, она дала веский довод в пользу того, что волны света являются как раз видом волн, предсказанных уравнениями Максвелла.

Со времени Максвелла было накоплено огромное количество экспериментальных доказательств, подтверждающих электромагнитную теорию света. Эти эксперименты, которые охватывают широкую область явлений, простирающуюся от оптики и инфракрасной спектроскопии до ультрафиолетовых лучей, рентгеновских лучей, гамма-лучей и т. д., представляют собой совокупность очень убедительных подтверждений теории Максвелла.

§ 7. О природе электромагнитного поля

После того, как мы убедились в существовании большого количества фактов, дающих основание полагать, что свет состоит из волн электромагнитного поля, мы вынуждены поставить вопрос: «Что такое электромагнитное поле?» Фарадей, Максвелл и другие ученые того времени постулировали, что все пространство заполнено очень тонкой средой, которую они называли «эфиром». Они предположили, что, подобно воздуху в воде, в этой среде могут существовать внутренние натяжения и, следовательно, волновое движение. Внутренние натяжения эфира воспринимаются нами как электрические и магнитные поля. Они надеялись таким путем объяснить гравитационные силы как иной вид внутреннего натяжения эфира.

Поэтому было проведено много экспериментов с целью обнаружения прямого экспериментального доказательства существования эфира, среди которых наиболее знаменитым является эксперимент Майкельсона — Морли. Мы не можем здесь входить в подробности эксперимента, а просто сошлемся на окончательный вывод, а именно, что все эксперименты, имевшие целью обнаружение эфира, дали отрицательные результаты. Таким образом, существует ли эфир в действительности, установить экспериментально нельзя. Это породило серьезную проблему, так как реальные физические эффекты, такие, как свет и гравитация, могут передаваться на большие расстояния через явно пустое пространство. Чтобы подчеркнуть серьезность проблемы, заметим, что стальной кабель, диаметр которого равен диаметру Земли, не оказался бы достаточным для того, чтобы удержать Землю на ее орбите вращения вокруг Солнца. Однако гравитационная сила, удерживающая Землю на

ее орбите, передается на расстояние 150 000 000 км через пространство, не содержащее каких-либо следов вещественной среды, через которую эти силы могут передаваться.

Пока нельзя сказать, что вопрос о том, какая материальная среда, если таковая существует, является носителем электромагнитного поля, полностью решен. Ученые оставили в стороне эту проблему, так как с течением времени постепенно стало ясно, что построение теории эфира без экспериментального выяснения вопроса о том, чем может быть эфир, было в значительной степени пустой спекуляцией. Вместо этого просто предполагалось существование полей безотносительно к вопросу о существовании эфира.

В принципе поля могли быть определены в каждой точке пространства, и изменение их во времени определялось уравнениями Максвелла. Но, по мере того как были рассмотрены все наблюдавшиеся до сих пор явления, вопрос о материальной среде, или «эфире», в котором эти поля могли бы быть представлены в виде состояний натяжения или движения, оказался неуместным. Таким образом, даже если эфир существует, то по крайней мере в пределах тех экспериментов, которые в то время можно было осуществить, все результаты должны были бы быть такими, как если бы он не существовал. Другими словами, все, что до сих пор было для физиков значительным, являлись поля сами по себе. В результате этого возникло мнение о том, что поля являются качественно новыми видами сущностей, которые мы можем постулировать с таким же правом, как и материальные тела (например, атомы) при условии, что такой постулат поможет объяснить широкую область фактов и экспериментальных результатов. Эта точка зрения, видимо, предложенная впервые Лоренцем, была значительно дальше разработана Эйнштейном. В настоящее время ее разделяют большинство физиков.

Введение полей, очевидно, ведет за собой фундаментальное видоизменение нашего представления о материи и пространстве. Так, полевые представления означают, что даже тогда, когда пространство не содержит тел в обычном понимании, там еще могут иметь место непрерывно изменяющиеся поля. Можно показать, что эти поля переносят энергию, импульс и момент количества

движения так, что они даже могут походить на некоторые свойства движущихся тел¹. Фактически Эйнштейн пошел дальше, так как он сделал очень интересное предположение о том, что могут существовать конкретные виды полей², которые движутся так, что поле имеет импульсоподобный вид, причем концентрации являются стабильными и могут действовать, почти как маленькие движущиеся тела. Далее, он предположил, что, возможно, так называемые элементарные частицы в физике, например электроны и протоны, могут состоять из такого рода движений полей. Однако независимо от того, примем мы эти гипотезы или нет, ясно, что многие основные свойства материальной системы, которые определяют ее характерные способы поведения (например, силы, действующие на различные тела внутри системы, полная энергия, импульс, момент количества движения системы и т. д.) зависят в той же степени от полей, в какой — от тел. Таким образом, представление о материи по существу расширено до включения понятия поля как представляющее распространение на широкую область пространства проявлений материальной системы.

§ 8. Полевые теории и механицизм

Выдвинутая в конце XIX в. гипотеза о равноправном существовании поля как качественно нового вида сущности была важным отходом от механицизма. Разумеется, в XIX в. в гидродинамике использовалось представление о полях плотности и скоростей. Но эти поля рассматривались лишь как средства приближения при рассмотрении определенных свойств совокупности молекул, составляющих жидкость. Подобная точка зрения была внесена в электродинамику Фарадеем, Максвеллом и другими учеными того времени, когда они предполагали, что электромагнитное поле представляет собой лишь состояние движения или внутреннего натяжения в эфире. Мнение о том, что поля представляют

¹ Так, импульс луча света вызывает измеряемое *радиационное давление* на поверхность, аналогичное давлению, которое оказывал бы на эту поверхность поток молекул.

² Эти поля должны удовлетворять нелинейным уравнениям. Рассмотрение некоторых свойств нелинейных уравнений см. в гл. III, § 3.

собой сущности, имеющие право на определенное существование, составило тогда подлинное обогащение основных представлений физики, так как, кроме формулировки физических законов как законов движения тел в пространстве, физики теперь формулировали еще и такие законы, как законы качественно нового вида движения, а именно движения, включающего набор изменяющихся амплитуд полей в различных точках пространства¹.

С другой стороны, поскольку полевые теории стали общепринятой составной частью современной физики, очень многие физики начали истолковывать их, в сущности, механистически, так как вместо предположения о том, что вся природа может быть сведена лишь к немногим видам тел, они предполагали, что вся природа может быть сведена к немногим видам тел и немногим

¹ Правда, использование полевых представлений в описанных здесь проблемах не является абсолютно необходимым. Так, с помощью запаздывающих потенциалов можно поля заменить движениями частиц. Это приводит к выражению силы, действующей на тело в определенный момент времени через движения всех тел за отрезок времени, который становится бесконечным, если мы желаем учесть влияние источников электромагнитной радиации, находящихся сколь угодно далеко от рассматриваемого тела.

Однако конкретизация движения всех тел в любой момент времени является не только громоздкой процедурой, которая, очевидно, была бы недостаточна для рассмотрения даже простой проблемы, как, например, рассмотрение радиоволн в волноводе; кроме того, эта конкретизация, по-видимому, не соответствует той форме, которую принимают физические законы при рассмотрении более широкого или более глубокого круга проблем. Например, излучение черного тела дает весьма серьезные основания полагать, что существует поле, которое поглощает энергию, излучаемую веществом, поскольку средняя поглощенная энергия в точности равна энергии, которая была бы поглощена совокупностью эквивалентных осцилляторов. Когда мы переходим к квантовой электродинамике, мы обнаруживаем, что полевые представления также дают преимущества, так как в этом случае само существование частиц понимается как представление о квантовых состояниях полей, так что и «рождение» и «уничтожение» таких частиц можно понимать как изменение возбужденного состояния полей. Аналогичным образом квантовые флуктуации вакуума, важность которых обнаружена во многих экспериментах, также очень естественно описываются с помощью полевых представлений. С другой стороны, «рождение» и «уничтожение» частиц даже не может быть рассмотрено с помощью запаздывающих потенциалов, а рассмотрение квантовых флуктуаций с их помощью является очень искусственным. Итак, точка зрения, основанная на полевых представлениях, очень удобна при рассмотрении широкого круга проблем.

видам полей. Или вместе с Эйнштейном они могли предположить, что вся природа может быть сведена к одним только полям. Так, эти физики фактически доказывали, что философия механицизма правильна вообще, но неправильна в том, что она заранее не учитывает важного набора механических параметров полей, которые необходимы для полной конкретизации состояния всего во всей вселенной¹. Верно, что поля, будучи непрерывными, требуют для своего математического выражения² несчетного множества переменных. Таким образом, ясно, что механистическая программа предсказания будущего поведения вселенной на основе знания начальных значений всех механических параметров (в данном случае параметров, связанных как с полями, так и с телами) в настоящее время совершенно неосуществима на практике. Тем не менее это поведение может еще мыслиться как определенное в принципе этими механическими параметрами. Так, можно было бы также представить себе возможность того, что сверхсущество Лапласа было одарено способностью учитывать бесконечное множество переменных так, что оно смогло бы тогда вычислить будущее вселенной с исчерпывающей точностью, хотя необходимая для этого работа была бы, конечно, бесконечно больше работы, необходимой для случая, когда вселенная состояла бы лишь из тел. Тогда ясно, что вышеизложенная точка зрения содержит в себе наиболее существенную и характерную черту механицизма (см. § 3), а именно сведение всего во всей вселенной полностью и идеально к чисто количественным изменениям нескольких основных видов сущностей (в данном

¹ Эта точка зрения в настоящее время чаще всего входит в формулировку законов природы в виде «вариационного принципа», согласно которому эти законы выводятся путем отыскания минимума «лагранжевой функции». При рассмотрении полей к «лагранжевой функции частиц» просто добавляют «полевую лагранжевую функцию». Таким образом, «полевые координаты» рассматриваются как дополнительные механические переменные, которые должны быть добавлены к переменным частиц, чтобы получилась обобщенная механическая система.

² Если мы рассмотрим систему, заключенную в конечный объем, ясно, что полевые переменные становятся счетными (например, ряды Фурье). Однако, рассматривая вселенную как целое, мы не можем предположить наличие такого конечного объема. Следовательно, в рассматриваемой здесь проблеме переменные не являются счетными.

случае тел и полей или одних полей, согласно точке зрения Эйнштейна), которые сами по себе качественно никогда не изменяются. Это, разумеется, более тонкая и тщательно разработанная форма механицизма по сравнению с лапласовской формой, но, становясь все более и более тонкой и тщательно разработанной, она не переставала быть механистической.

§ 9. Молекулярная теория теплоты и кинетическая теория газов

Вместе с полевой теорией и теорией света развивалась другая новая отрасль физики, а именно молекулярная теория теплоты и кинетическая теория газов, которая, как мы уже указали выше, также играла важную роль в постепенном процессе подрыва механицизма, происходившего в XVIII и XIX вв.

Как хорошо известно, Майер, Джоуль и другие показали, что вода, будучи приведенной в турбулентное движение, например с помощью гребного колеса, нагревается. Затем Джоуль измерил нагрев, производимый вращением колеса, с помощью падающего с определенной высоты груза. Было найдено, что получающаяся теплота всегда пропорциональна энергии, освобождающейся при падении груза. И, наоборот, были построены тепловые машины (например, паровые машины), которые превращали теплоту в механическую энергию. В этих случаях имела место та же пропорциональность между теплотой и механической энергией.

Затем была развита теория теплоты. Было постулировано, что теплота является формой хаотического молекулярного движения. Так, гребное колесо, вращаясь, создавало в воде вихри. Эти вихри постепенно становились все меньше и все более и более хаотичными, пока они не достигали молекулярного размера. На этом этапе энергия упорядоченного механического движения рулевого колеса полностью превратилась в энергию неупорядоченного или хаотического молекулярного движения. Хотя это неупорядоченное хаотическое движение в макроскопическом масштабе не является непосредственно видимым, тем не менее оно проявляется как «тепло». Оно может также проявляться, как механическое давление.

Таким образом, была развита кинетическая теория

газов, основанная на предположении о неупорядоченности или хаотичности движения молекул, из которых состоит газ. В качестве первого приближения предполагалось, что молекулы имеют небольшой, но конечный размер. Но для газа предполагалось, что этот размер много меньше среднего расстояния между молекулами. Таким образом, молекулы движутся свободно в пространстве, за исключением случайных столкновений. Эти столкновения вызывают внезапные изменения как по направлению, так и по величине скорости. Интуитивно можно представить, что со временем в результате столкновений будет иметь место неупорядоченное случайное распределение положения частиц и направлений движения.

Рассмотрим теперь действие этого неупорядоченного движения на стенки объема. Стенки будут подвергаться ударам почти непрерывно, и каждая молекула будет передавать стенке маленький импульс. В итоге действие будет аналогично действию дождя песчинок. Вследствие случайного распределения частиц на стенки будет действовать почти непрерывное давление. Именно это давление заставляет взрываться сосуд со сжатым воздухом и обуславливает силы, движущие поршень паровой машины или двигателя внутреннего сгорания. Таким образом, мы получаем объяснение давления с помощью так называемой кинетической теории газов.

Одно из важных первых экспериментов доказательств реальности неупорядоченного молекулярного движения было получено при изучении броуновского движения. В 1824 году ботаник Броун открыл, что микроскопические частицы спор, взвешенные в воде, обнаруживают неупорядоченное и непрерывное движение, не имеющее видимого источника энергии. Аналогичное поведение было открыто позднее и для частиц дыма, взвешенных в воздухе. Длительное время попытки объяснить это явление терпели неудачу; но в конце концов, после того как было выдвинуто множество гипотез, было показано, что броуновское движение может быть объяснено и качественно и количественно как действие хаотического молекулярного движения. Для этого сначала отметим, что, хотя каждая частица дыма и мала, она еще содержит примерно 10^8 атомов или более. Таким образом, при соударении с молекулой газа, в котором она взвешена, частица приобретет импульс, который незначительно из-

менит ее скорость. Молекулы газа движутся очень быстро (со скоростью примерно 10^4 см/сек), но вследствие того, что частицы дыма значительно тяжелее атома, результатом ее соударения с отдельным атомом будет сравнительно малое изменение скорости. Поскольку она испытывает соударения с молекулами газа непрерывно и очень неупорядоченным образом, мы получаем соответственно медленные, но неупорядоченные флуктуации скорости частицы дыма. Чем больше частица, тем меньше флуктуации. Таким образом, некоторые флуктуации скорости будут продолжать существовать даже для частиц макроскопического размера (например, стула), но их величиной можно полностью пренебречь. Для получения заметной величины флуктуации нам нужно обратиться к микроскопическому уровню.

Когда была вычислена средняя скорость флуктуаций частиц данного размера, было найдено, что в пределах экспериментальной ошибки она находится в согласии с наблюдаемой. Таким образом, броуновское движение оказывается важным доводом, подкрепляющим гипотезу о неупорядоченных молекулярных движениях. Позднее был найден более непосредственный довод, так как с помощью современной методики и приборов стало возможным измерить скорости отдельных атомов и, следовательно, показать, что они действительно движутся неупорядоченно, причем распределение их скоростей можно предсказать теоретически.

§ 10. Соотношение между микроскопическим и макроскопическим с точки зрения молекулярной теории

Описанная в предыдущем параграфе кинетическая теория газов была важна не только сама по себе, но также и потому, что она была в пределах физики первым примером качественно новой стороны законов природы, а именно общие статистические повторяемости большого масштаба могут проявляться на макроскопическом уровне, которые в значительной степени независимы от деталей сложных и неупорядоченных движений, имеющих место на атомном уровне. Вследствие того, что этот вид регулярного общего статистического закона стал к настоящему времени весьма обычным не только

в физике, но также во многих других отраслях, мы проведем здесь весьма детальный анализ того, каким образом возникают такие законы — как в случае молекулярной теории теплоты, так и кинетической теории газов

Начнем с рассмотрения сосуда, содержащего в себе примерно 10^{23} молекул, каждая из которых в результате непрерывных соударений с другими молекулами движется по весьма запутанной траектории. Ясно, что нахождение точных движений каждой молекулы было бы безнадежной задачей, так как, прежде всего вследствие ее явной математической неразрешимости, эта проблема выходит далеко за рамки области проблем, которые можно решить. Но, даже если бы мы смогли решить связанные с этим математические проблемы, мы столкнулись бы с практической невозможностью измерения начальных положений и скоростей каждой молекулы, знание которых необходимо для осуществления точных предсказаний в механике. И даже если бы эти сведения были для нас доступны, этого было бы недостаточно, потому что наше знание основных законов механики само по себе может не быть абсолютным. Действительно, если мы более тщательно рассмотрим характер молекулярных движений, то увидим, что они обладают громадной неустойчивостью. Например, небольшое изменение начального угла движения какой-либо молекулы заметно изменит направление ее движения после первого столкновения. Это изменение в свою очередь приведет к еще большему изменению при следующем столкновении и т. д., а совокупное действие этих изменений в конце концов перенесет рассматриваемую молекулу в совершенно иную область пространства. Таким образом, малейшая ошибка в любой части теории — либо в математической, либо в области знания начальных условий или выражения самих основных причинных законов — привела бы со временем к громадным ошибкам в предсказаниях деталей молекулярных движений.

Итак видно, что, если мы хотим детально предсказать поведение отдельной системы, содержащей примерно 10^{23} молекул, мы наталкиваемся на совокупность препятствий, но те же самые факторы, которые делают невозможным подробное предсказание, позволяют, однако, осуществить общее предсказание свойств системы как *целого* или микроскопически усредненных без точного

знания того, что происходит с отдельными молекулами. Заметим, что макроскопически усредненные величины (например, среднее число молекул в данной области пространства или среднее давление на данную поверхность) *крайне мало зависят* от определенных движений и перемещений в пространстве отдельных молекул. Эта малая зависимость возникает, по крайней мере частично, в результате того, что громадное количество различных движений и перемещений в пространстве может привести практически к тем же значениям этих величин. Например, если мы поменяем местами в пространстве две молекулы, мы получим различную совокупность микроскопических условий, но одинаковые макроскопические действия. И если в данной области пространства данная молекула изменяет свое направление движения, то действия этого изменения на усредненные величины большого масштаба могут быть вполне компенсированы соответствующими противоположными изменениями движений соседних молекул. Таким образом, неупорядоченное движение многих молекул будет порождать флуктуации, действия которых в большом числе случаев или в среднем стремятся взаимокомпенсироваться. Действительно, вышеприведенные рассуждения количественно оправдываются в исследованиях в статистической механике, показывающих, что почти все возможные начальные условия положений и скоростей молекул приводят к неупорядоченным движениям, при которых усредненные величины большого масштаба флуктуируют в весьма хорошем согласии с практически определяемыми средними значениями. Вследствие того, что эти средние значения зависят почти исключительно от общих молекулярных свойств системы как целого, таких, как средняя плотность, средняя кинетическая энергия и т. д., *которые могут быть определены непосредственно на крупномасштабном уровне*, становится возможным получить повторяющиеся и предсказуемые соотношения, касающиеся *лишь одного крупномасштабного уровня*.

Ясно, что можно вполне обоснованно говорить о *макроскопическом уровне*, обладающем совокупностью *относительно независимых качеств* и удовлетворяющем совокупность *относительно независимых соотношений*,

которые фактически составляют совокупность макроскопических причинных законов¹.

Например, если мы рассмотрим некоторое количество воды, то из непосредственного макроскопического опыта мы знаем, что она ведет себя характерным образом, как *жидкость*. Под этим мы понимаем, что она обнаруживает все макроскопические качества, которые мы связываем с жидким состоянием. Например, она течет, она «смачивает» вещи, она стремится сохранить определенный объем и т. д. При своем движении она удовлетворяет системе основных гидродинамических уравнений², которые выражаются лишь через микроскопические свойства, например давление, температуру, локальную плотность, локальную скорость потока и т. д. Таким образом, если мы желаем понять свойства некоторого количества воды, то его нужно рассматривать не как совокупность молекул, а, скорее, как сущность, присутствующую на макроскопическом уровне, согласно законам, соответствующим этому уровню.

Конечно, это не означает, что молекулярное строение жидкости не имеет связи с ее макроскопическими свойствами. Наоборот, если мы изучаем отношение между ними, мы даже можем видеть, *почему* возможен относительно независимый уровень. Причина этого заключается в малой зависимости поведения совокупности на крупномасштабном уровне от конкретного поведения отдельных молекул. Отчасти эта малая зависимость является следствием описанной выше взаимной компенсации действий отдельных движений. Отчасти она является следствием действий межмолекулярных сил. Силы, действующие между молекулами, таковы, что они находятся в приблизительном равновесии, когда жидкость имеет определенную плотность. При увеличении плотности, когда молекулы сближаются друг с другом, появляются силы отталкивания, которые автоматически стремятся вернуть плотность к ее первоначальному значению; а при уменьшении плотности начинают проявляться силы притяжения молекул, в результате чего плотность вновь принимает свое первоначальное значение. Следовательно, кроме взаимной компенсации действий отдельных ча-

¹ Например, законы термодинамики и макроскопической физики вообще.

² Уравнений Навье — Стокса.

стиц, принимающих участие в молекулярном движении, существует определенная *стабильность* характерных способов макроскопического поведения, которые стремятся сохраняться не только более или менее независимо от поведения отдельных молекул, а также от различных возмущений, которым может быть подвергнута система извне.

Было найдено, что представление об относительно независимых уровнях имеет довольно широкую область применения. Так, в атомной физике было обнаружено, что ниже атомного уровня лежит уровень так называемых «элементарных частиц», то есть электронов, протонов, нейтронов, позитронов и т. д. И, как мы увидим ниже, особенно в главе IV, видимо, существует новый и пока еще очень плохо известный уровень, находящийся даже ниже уровня этих элементарных частиц. Выше атомного уровня мы имеем молекулярный уровень (законы которого изучаются главным образом в химии, но частично и в физике), уровень живой материи, изучаемой главным образом в биологии, который сам по себе имеет много уровней, а также еще и другие уровни, которые читатель себе может легко представить¹. Однако на всех этих уровнях мы находим типичную относительную независимость поведения и существование совокупностей качеств, законов и соотношений, которые являются характерными для рассматриваемого уровня.

§ 11. Качественные и количественные изменения

Очень важный дальнейший вклад атомной теории в обогащение системы физических понятий был связан с возможностью выяснения соотношений между качественными и количественными изменениями на некоторых простых примерах, которые могут быть изучены весьма подробно. В качестве примера этого мы рассмотрим превращение газа в жидкость и в твердое тело.

На ранних фазах развития физики качественные свойства, связанные с газовой, жидкой и твердой фазами вещества, просто предполагались без дальнейшего анализа. Однако с развитием атомной теории стало возможно их *объяснить*, по крайней мере приближенно, через *количественно* конкретизованные движения атомов и молекул,

¹ Как мы увидим в гл. V, эта расслоенная структура вполне может быть бесконечной, но не обязательно является таковой.

из которых состоит рассматриваемое вещество. Такое объяснение проводится, грубо говоря, следующим образом.

Как мы видим, в газовой фазе молекулы находятся в непрерывном и хаотическом движении. Конечно, между молекулами существуют силы притяжения, но средняя кинетическая энергия неупорядоченного движения столь велика, что молекулы не образуют устойчивых комбинаций, а, наоборот, более или менее однородно заполняют все доступное для них пространство. Это — характерное свойство газовой фазы. С понижением температуры средняя кинетическая энергия молекул уменьшается, а межмолекулярные силы начинают играть более важную роль. Так, по мере приближения к точке конденсации газа непрерывно имеет место тенденция к образованию групп, состоящих из нескольких молекул, возникших в результате их взаимных притяжений, но средняя кинетическая энергия молекул столь высока, что эти группы разрушаются сразу же после их образования. По мере дальнейшего понижения температуры группы имеют тенденцию к увеличению; затем при определенной критической температуре возникает качественно новое явление. Молекулы продолжают конденсироваться в данной группе быстрее, чем они ее покидают. Таким образом, группы растут и становятся маленькими капельками, после чего капельки в дальнейшем объединяются и образуют новую жидкую фазу. В этой фазе вещество заполняет не все доступное для него пространство, а лишь некоторый характерный и определенный объем, который определяется равновесием тенденций к притяжению и отталкиванию при взаимодействиях всех молекул. К дополнительным новым качествам, возникающим в этой фазе, принадлежит относительная несжимаемость, способность к «смачиванию» поверхности, растворению различных твердых тел и много других, которые все могут быть объяснены приближенно при более подробном анализе молекулярных движений, который, однако, мы здесь не приводим.

С понижением температуры жидкости происходят дальнейшие количественные изменения ее различных свойств (например, плотности и вязкости). Они являются следствием уменьшения средней молекулярной кинетической энергии. Когда температура приближается к точке затвердевания, начинают образовываться зародыши кри-

сталлов, состоящие из небольшого количества атомов, расположенных в правильной и периодической решетке. Тенденция к образованию таких кристаллов также вызвана межмолекулярными силами, причем их решетка представляет собой наиболее стабильную конфигурацию из всех возможных. Однако эти кристаллы разрушаются почти сразу же после образования под влиянием разрушительного неупорядоченного теплового движения. Однако ниже определенной критической температуры кристаллы начинают расти со скоростью, в среднем больше скорости их разрушения, и жидкость превращается в качественно новую фазу кристаллического твердого тела. В этой фазе вещество имеет тенденцию не только занять определенный объем, но также и сохранить определенную форму, сопротивляясь усилиям ее нарушить и возвращаясь после деформации к первоначальной форме. Кроме того, вообще наблюдаются качественные изменения многих других свойств (например, способности пропускать свет, поляризовать его, диаграмм, получающихся при дифракции рентгеновских лучей и т. д.). При дальнейшем понижении температуры происходят дополнительные количественные изменения свойств кристалла, являющиеся следствием непрерывного уменьшения средней кинетической энергии колебания молекул вокруг их средних положений в кристаллической решетке.

Тогда мы видим, что *количественные* измерения средней кинетической энергии молекулярного движения приводят к ряду *качественных* изменений свойств веществ в целом. Вообще приближение к критической температуре знаменует наступление качественных изменений. Однако при прохождении через такую критическую температуру возникают два обстоятельства. Во-первых, создаются условия, при которых образуются полностью различные качества (например, тенденция занимать определенный объем). Во-вторых, даже те свойства (такие, как теплоемкость, плотность и т. д.), являющиеся общими для обеих фаз, обнаруживают разрывности в своем количественном поведении при прохождении через точку перехода.

Теперь мы постараемся выразить более точно, что же существенно в качественном превращении. Наиболее существенной и характерной чертой качественного пре-

вращения является то, что новые типы причинных факторов становятся значительными в данном круге явлений или начинают «контролировать» определенную область явлений, в результате чего возникают новые законы и даже новые типы законов, применимые в рассматриваемой области. Так, объем газа, как мы видели, определен сосудом, а объем жидкой фазы определен прежде всего внутренними условиями самой жидкости. Следовательно, появляется новое качество, а именно тенденция к сохранению определенного объема, которая отражается в новой форме для закона, связывающего объем жидкости с ее другими свойствами (например, температурой и давлением). Аналогично в то время как форма жидкости определена формой сосуда, форма твердого тела, как и его объем, прежде всего определяется его собственными внутренними условиями. Таким образом, появляется новое качество жесткости вместе с новыми законами, которым подчиняются его характерные черты¹.

§ 12. *Случайность, статистический закон и вероятность в физике*

Введение понятий случайности, статистического закона и вероятности в связи с объяснением броуновского движения, законов термодинамики и других макроскопических свойств в свою очередь привело к крайне важному развитию системы понятий классической физики. Поэтому мы здесь кратко изложим, как эти понятия применялись в области атомной физики для целей вычисления статистических свойств совокупностей атомов и молекул.

Способы движения атомов или молекул в таких совокупностях представляют все характерные свойства, необходимые для возникновения случайных флуктуаций. Так как мы видели в связи с рассмотрением уровней, изложенным в § 10, детали движения отдельных молекул являются (вследствие их крайней неустойчивости) очень сильно зависящими от того, как именно движутся различные другие молекулы и, кроме того, являются

¹ Кроме того, следует добавить, что, как указано в гл. I, § 7, качественные превращения удовлетворяют много-однозначным отношениям, не зависящим от широкой области изменения деталей количественных условий, сопровождающих превращение.

(вследствие соударений) крайне сложными и подверженными очень нерегулярным и быстрым флуктуациям их скоростей, которые фактически являются неупорядоченными¹. В результате движения каждой молекулы, очевидно, зависят от громадного количества быстро флуктуирующих факторов. Следовательно, *внутри ограниченного круга, в котором мы рассматриваем лишь конкретную молекулу*, можно ожидать, что описание движения как подверженного случайным флуктуациям, должно быть в основном правильным. Более того, когда мы имеем дело с большим количеством молекул, находящихся в одинаковых условиях (например, объем газа), уже очевидно, по крайней мере качественно, что в большом количестве случаев и в среднем каждая молекула будет находиться одинаковое количество времени в любой области пространства так же, как и в любой другой области, имеющей равный объем².

Таким образом, во всем сосуде имеется одинаковая вероятность того, что любая молекула попадет в любую конкретную область, имеющую конкретный объем независимо от того, где эта область находится. Наконец, вследствие неупорядоченности, возникающей в результате соударений в течение длительного времени, никакая молекула не будет находиться около другой конкретной молекулы, так что каждая молекула в среднем имеет высокую степень независимости при своем движении относительно движения других молекул.

При этих условиях теория вероятностей позволяет вычислить большое количество свойств статистической совокупности молекул. Простейший пример применения теории вероятностей говорит, что средняя плотность везде будет постоянной; это хорошо известное свойство

¹ Дальнейшее рассмотрение вопросов, связанных с неупорядоченностью скорости, см. в статье D. Bohm and W. Schutzer, опубликованной в «Nuovo Cimento».

² Строгое математическое доказательство этого может быть проведено для некоторых простых систем, но до сих пор математические трудности были слишком велики для того, чтобы можно было поставить эту проблему в общем, что было бы эквивалентно доказательству так называемой «квазиэргодической теоремы». (Однако догадка о том, что эта теорема применима в типичных проблемах описанного здесь вида, делается весьма правдоподобной, если учесть приведенные здесь качественные аргументы, а также то, что такая теорема фактически доказана для простых систем; см., например, в упомянутой статье Д. Бома и В. Шутцера.)

газа, заключенного в сосуд при однородных условиях. Таким образом, можно предсказать не только усредненные свойства, но также и средние *флуктуации от усредненного значения*. Это можно сделать с помощью хорошо известной теоремы, из которой следует, что в этом случае средняя относительная флуктуация от усредненного значения равна $\sqrt{1/n}$, где n — число элементов совокупности, по которым проводилось это усреднение. Так, возьмем случай газа со средней плотностью 10^{17} молекул на кубический сантиметр. Если мы рассмотрим куб со стороной 10^{-5} см (с объемом 10^{-15} см³), он в среднем будет содержать 100 молекул. Однако вследствие неупорядоченных движений молекул это число в действительности быстро флуктуирует во времени; и, согласно приведенной выше теореме, средняя относительная флуктуация составит примерно 10. Однако если мы рассмотрим куб со стороной 10^{-3} см, то среднее число частиц в нем равно 10^8 , а средняя относительная флуктуация этого числа составит лишь $1,0 \times 10^{-4}$. А в кубе со стороной 10 см среднее число молекул будет равно 10^{20} , в то время как средняя относительная флуктуация составит лишь $1,0 \times 10^{-10}$. Этот пример количественно показывает, что, когда мы рассматриваем усреднение по совокупности, содержащей все больше и больше элементов, случайные флуктуации стремятся ко все более и более полной взаимной компенсации, создавая, таким образом, условия для появления статистического закона, который становится все более и более детерминированным при неограниченном возрастании числа элементов.

Систематическое применение теории вероятностей к атомной физике осуществлено в статистической механике, которая позволяет весьма точно вычислить очень много макроскопических свойств системы (например, энтропию, теплоемкость, уравнение состояния и т. д.) на основе микроскопических законов и которая, кроме того, дает модель, позволяющую количественно рассматривать, как из микроскопических движений возникают макроскопические законы термодинамики. Теория вероятностей также была применена для изучения броуновского движения и для изучения флуктуаций макроскопических свойств вещества около критических точек жидкостей. Таким образом, теория вероятностей сделала важный вклад в наше понимание отношения между

микроскопическим и макроскопическим уровнями, позволив нам учесть случайные явления, возникающие на микроскопическом уровне без необходимости в точном и подробном вычислении движений всех индивидуальных молекул в большой совокупности или в точном знании законов микроскопического уровня.

§ 13. Обогащение системы понятий классической физики и философия механицизма

В предыдущих параграфах мы видели, что, если даже не учитывать развитие понятия полей, в течение XVIII и XIX вв. был сделан ряд очень важных дополнительных шагов, которые значительно обогатили систему понятий физики. Она включает в себя введение понятия уровней, понятия количественных изменений, приводящих к качественным изменениям, и понятия случайных флуктуаций, которые приближаются к детерминированным законам поведения больших совокупностей в среднем. В то время как мы уже указали в § 4, что никакое из этих понятий не находится в прямом противоречии с механистической философией, каждое из них составляет, по крайней мере по духу общей тенденции отход от идеи о существовании абсолютного и конечного фундаментального закона, который является чисто количественным по форме и который сам по себе позволил бы, по крайней мере в принципе, полный и совершенный расчет каждой черты всего во всей вселенной.

Для того чтобы увидеть, почему эти новые понятия отходят от механицизма, мы прежде всего напомним, что в первоначальной форме механистической философии и понятие качественных изменений и понятие случайности рассматривались лишь как субъективное вспомогательное средство для нашего понимания свойств материи в целом, так что они не представляют ничего, что бы в действительности предполагалось существующим объективно в материальных системах. Однако в § 11 мы уже видели, что по крайней мере в пределах макроскопической области при качественных превращениях новые качества, удовлетворяющие новым законам, становятся важными и господствующими причинами в рассматриваемой области. Более того, нельзя отрицать

объективную реальность прерывности в количественных макроскопических свойствах, а также объективную реальность малой зависимости качественного изменения от деталей, имеющих количественный характер. Аналогичным образом очевидно (на основе рассмотрения, приведенного в главе I, § 8—9), что случайные флуктуации существуют объективно внутри конкретного круга явлений и что теория вероятностей дает относительно точное математическое выражение объективных свойств этих флуктуаций, включающих статистические закономерности, которые возникают на основе взаимной компенсации большого числа случайных флуктуаций.

Однако наиболее характерно для механистической философии, что она позволяет делать неограниченное число приспособлений этой точки зрения, касающихся деталей, не отказываясь от того, что существенно для механистической позиции. Так, очень многие физики вместе с понятием качественных изменений в сущности приняли представление о том, что эти изменения вполне могут быть объективными (или по крайней мере в такой же степени объективными, как что-либо другое). Тем не менее они утверждают, что такие изменения не имеют фундаментального значения потому, что они, по крайней мере в принципе, должны следовать полностью и идеально во всех своих подробностях, в любом отношении и без какого-либо приближения из количественных законов движения фундаментальных элементов, составляющих систему независимо от того, какими могут быть эти элементы. Следовательно, утверждается, что качественные изменения подобны проходящим теням. Эти изменения как таковые абсолютно не существуют независимо, но все свойства их зависят от количественных законов, которым подчиняются основные элементы, входящие в теорию. Очевидно, что такая позиция предполагает также, что понятие ряда уровней законов, по видимому, является не чем иным, как совокупностью приближений к абсолютному и конечному элементарному закону, приближений, при которых все характеристики законов различных уровней полностью зависят от элементарного закона, в то время как элементарный закон не зависит ни от какого закона на различных уровнях. Аналогичным образом это совпадает с точкой зрения, которая исходит из того, что случайность и ста-

тистические законы возникают лишь из абсолютной сложности и множественности движения основных сущностей, входящих в элементарный причинный закон, и что в формулировке этого последнего закона не появится никакого элемента случайности.

Напомним, что исторически механистическая философия формулировалась, исходя из предпосылки, что основными единицами, из которых, по предположению, построена вселенная, являются неделимые атомы. Чисто количественные законы, которым подчиняется движение этих атомов, затем рассматривались как законы, из которых вытекает все.

Однако позднее было открыто, что атомы в действительности не являются элементарными единицами, вследствие того что они составлены из движущихся электронов, протонов и нейтронов. Из этого факта уже можно было видеть, что предположение о полной сводимости всего во всей вселенной лишь к законам, которым подчиняются движения атомов, не может быть абсолютно верным, потому что существование внутренней структуры у атомов позволяет законам, которым они подчиняются, быть зависимыми от условий, существующих на более высоком уровне. Следовательно, законы макроскопического уровня и законы атомного уровня фактически *взаимосвязаны*.

Рассмотрим в качестве примера температуру вещества. Согласно атомной теории, эта температура полностью и совершенно определяется лишь средней кинетической энергией хаотической части молекулярных и атомных движений¹.

Однако при температуре в несколько тысяч градусов по абсолютной шкале молекулы и атомы диссоциируют на электроны и ионы, которые имеют качественно новые свойства по сравнению со свойствами недиссоциировавших систем, в то время как при температурах порядка миллионов градусов (существующих внутри звезд) начинаются даже ядерные превращения, так что любые атомы конкретного вида всегда превращаются в атомы других видов. Когда эти процессы существенным образом начинают сказываться, понятие о температуре как о чем-то призрачном, определяемом лишь средней

¹ См., например, § 9.

кинети́ческой энергией хаотических атомных и молекулярных движений, перестает быть способным точно представлять нужные стороны проблемы, ибо существенное действие повышения температуры состоит в том, что понятие о движениях, сводимых к перемещению атомов и молекул в пространстве, в конечном счете становится совершенно неприменимым. Следовательно, пока мы остаемся в рамках атомной теории, мы вынуждены допустить, что крупномасштабные свойства, такие, как температура, могут быть определенными мерой самостоятельного и независимого существования в том смысле, что они дополняют определение внутренней характеристики атомов — законы, которым подчиняется их внешнее поведение и даже условия, определяющие, могут ли существовать или нет атомы данного вида (или атомы вообще). При ограниченном ряде условий или для ограниченного круга явлений влияние крупномасштабных законов на законы атомного уровня столь мало, что мы ими можем пренебречь, и тогда понятие полной детерминированности макроскопических законов законами, которым подчиняются атомные движения, становится хорошим приближением. Но первоначальное механистическое предположение о том, что эта детерминированность не является приблизительной и условной, а, наоборот, является совершенной и абсолютной, по-видимому, теперь не находится в согласии с фактами, обнаруженными при дальнейшем развитии физики.

В дальнейшем под влиянием вышеприведенной критики механистическая позиция, конечно, изменилась, а именно считается, что трудности вызваны тем фактом, что атомы, очевидно, не являются основными элементами и что, наоборот, нужно рассматривать электроны, протоны и нейтроны, которые действительно являются основными элементами. Тогда на основании законов, применимых к этим сущностям, мы можем вывести все свойства атомов и показать, что законы макроскопического уровня также полностью и идеально вытекают из тех же основ. Таким образом, мы правы в отношении нашей общей цели, но неправы, преждевременно предполагая, будто мы уже достигли ее, познав законы атомного уровня.

Новые успехи современной физики, однако, показывают, что и эта точка зрения не может быть правиль-

ной, так как при дальнейшем развитии физики оказалось, что даже электроны, нейтроны и протоны не являются неизменными, а при соответствующих условиях могут превращаться друг в друга и в целое множество качественно отличных видов частиц, называемых мезонами, гиперонами и т. д. Такие превращения имеют место при столкновении частиц с очень высокой энергией¹. Легко можно представить макроскопическую среду, в которой температура была бы столь высока, что средняя энергия частиц находилась бы в области, в которой могли бы происходить эти превращения; и, действительно, вполне возможно в конце концов, что такие температуры можно получить искусственно, или даже может быть, что они существовали в природе на ранних стадиях развития вселенной². В такой среде условия на крупномасштабном уровне существенно влияли бы даже на те виды основных частиц, на которые разлагается любая система. В результате оказывается, что цель выведения законов более высоких уровней полностью и без всякого приближения из законов, применимых к электронам, протонам и нейтронам, является недостижимой, так же как и при попытке сделать это для атомов как элементарных единиц.

Конечно, опять можно найти простой выход из этих трудностей, оставаясь в рамках механистической точки зрения. Для этого лишь следует предположить, что действительно элементарными законами не являются даже известные в настоящее время законы, применяемые к движениям электронов, протонов, нейтронов, мезонов и т. д., и что они должны быть еще более элементарной системой законов, на основе которой в конце концов будут раз и навсегда разрешены все проблемы. Но тогда ясно обнаруживается сущность философских предположений, скрывающаяся за механистической точкой зрения, ибо тогда видно, что не только не существуют известные случаи законов, которые достигают механистической цели, но даже более того, если мы даже имеем закон, который казался бы объясняющим все известное в данное время, мы никогда не смогли бы быть уверенными в том, что следующий более точный эксперимент

¹ Эти энергии должны быть равны примерно сотням миллионов электронвольт.

² Эта точка зрения рассматривается в гл. V, § 8 и 11.

или следующий новый вид эксперимента не обнаружил бы неточностей, которые привели бы в конце концов к еще более общей и более глубокой системе законов. Действительно, это последнее и случалось до сих пор в физике со всеми законами, которые в то или иное время считались конечными. Таким образом, всегда будет открыта возможность наличия взаимного влияния между законами более высокого уровня и законами любого данного более низкого уровня. В обычных условиях этим взаимным влиянием можно пренебречь, но оно очень важно в новых условиях. Поэтому предположение о том, что любой данный закон столь элементарен и что абсолютно отсутствует любое взаимное влияние этого рода, не может быть доказано на основе любого мыслимого типа экспериментальных фактов.

Можно легко сделать аналогичные выводы относительно связи качественных изменений и количественных законов, на основе которых их можно приближенно предсказать. Ибо мы можем легко видеть, что существует взаимное влияние качественного состояния материи на количественные законы, применимые в любой конкретной области или на любом конкретном уровне. Так, например, точная форма межмолекулярных сил, которая входит в формулу их законов движения, зависит фундаментальным образом от качественного состояния вещества (например, является ли оно газом, жидкостью или твердым телом¹ и т. д.). Конечно, мы можем приближенно понять эту зависимость, рассматривая движения электронов, протонов и нейтронов, составляющих атом; но опять возникает та же проблема, ибо можно изменить качественное состояние вещества настолько, что даже основные количественные свойства кристаллической решетки существенно изменятся. Так, имеются некоторые очень плотные звезды, в которых таких образований, как атомы, строго говоря, нет, но в которых имеется как раз плотная масса электронов, нейтронов

¹ Например, могут существовать силы взаимодействия «многих тел», которые нельзя выразить в виде суммы взаимодействия двух тел, «обменные» силы, являющиеся результатом наличия электронов в металле, направленные силы, являющиеся результатом деформации атомов и молекул, имеющие место, когда последние образуют решетку и т. д.

и протонов¹. В этих условиях имеются достаточные основания предположить, что многие основные количественные свойства электронов, нейтронов и протонов должны быть совершенно отличны от свойств при более обычных условиях².

Таким образом, мы видим, что даже количественные законы, которым подчиняются электроны, протоны и нейтроны, зависят до некоторой степени от качественного состояния, в котором эта материя находится. Следовательно, мы еще не достигли цели — мы не нашли чисто количественного закона, который полностью и без всяких приближений объясняет все качества, так что последние не могут оказать влияние на выражение для законов целой системы. Более того, возможно, что никакой эксперимент не смог бы доказать, что данная система количественных законов *никогда* не зависит от качественного состояния материи, поскольку очевидно, что в новых, еще не исследованных условиях, или в исследованиях, проведенных на более высоком уровне приближения, такая зависимость может в конце концов появиться. Таким образом, предположение о том, что все качественные изменения, по сути дела, являются как раз пассивными «теньями» количественных изменений некоторого основного ряда сущностей, таких, как предположение о том, что законы более высокого уровня полностью сводятся к законам некоторого фундаментального уровня, не может быть основано на каком-либо мыслимом типе экспериментальных фактов.

Мы можем легко видеть, что аналогичный результат вытекает из той позиции по отношению к причинности и случайности, характерной для механистической философии в том виде, какой она приняла к концу XIX в. Как мы уже указали в главе I, было найдено, что все причинные законы, известные к настоящему времени, в конце концов приводят к несущественным факторам, которые находятся вне поля действия рассматриваемых причинных

¹ Звезды плотны настолько, что ядра различных атомов практически все время соприкасаются друг с другом.

² Например, вследствие быстрого обмена мезонов между этими частицами весьма вероятно, что ядерные силы, магнитные моменты, квадрупольные моменты и т. д. являются совершенно отличными от аналогичных величин, наблюдаемых в условиях, когда плотность частиц невелика.

законов. Например, как мы видели в параграфе 2 настоящей главы, каждый механический закон применим лишь к изолированной системе, потому что ее поведение зависит от граничных условий, которые определены в существенно независимых системах, внешних по отношению к рассматриваемой. Даже если мы рассмотрим вселенную в целом как единую механическую систему так, что вне ее ничего не существует¹, то возникает проблема того же рода.

Таким образом, если мы стараемся выявить причины происходящего на макроскопическом уровне со все большей и большей точностью, мы в конце концов найдем зависимость существенно независимых атомных движений от случайных флуктуаций. Но они в свою очередь зависят частично от существенно независимых случайных флуктуаций на электронном и ядерном уровне (а также от квантовомеханических флуктуаций, которые мы рассмотрим в главе III). Эти последние в свою очередь частично зависят от неупорядоченных флуктуаций на еще более глубоких уровнях, связанных со структурой электронов, протонов, нейтронов и т. д. (например, мезонных движений и, видимо, движений на уровне ниже уровня элементарных частиц). Следовательно, не известно существование причинного закона, полностью не зависящего от несущественных факторов, которые вводятся извне круга явлений, в котором действует рассматриваемый закон. Более того, если бы мы имели пример закона, который был бы, видимо, полностью свободен от таких несущественных факторов, возникла бы та же общая проблема, что и в проблеме взаимных отношений между уровнями и между качественными и количественными законами. Ибо следующий этап научного исследования всегда мог бы обнаружить новые факторы, существующие внутри первоначального круга явлений, в котором предсказания рассматриваемых законов оправдывались бы. Таким образом, представление о том, что имеется конечный причинный закон, который полностью свободен от несущественных факторов, из которого в принципе

¹ Если это рассмотрение считать путем к предсказанию действительных экспериментов, ему нельзя приписать никакого смысла. Однако оно является полезной философской абстракцией при условии, если мы отдаем себе отчет в том, что оно просто служит основой для обсуждения некоторых важных философских вопросов.

могут быть полностью и идеально выведены все случайные флуктуации, не может быть основано на каких-либо экспериментальных фактах.

В заключение мы видим, что механистическое предположение о том, что все различные уровни, все качественные изменения и все случайные флуктуации в конце концов будут полностью, идеально и безусловно сводиться к действиям некоторой фиксированной и ограниченной схемы чисто количественных законов, не следует и не может следовать из каких-либо конкретных научных достижений. Поэтому это предположение имеет существенно философский характер. Вопрос о желательности такого предположения мы рассмотрим подробнее в последующих главах.

§ 14. Новая точка зрения на вероятность и статистический закон; индетерминистический механицизм

Как реакция на множество трудных проблем, возникающих при интерпретации случайных явлений и связанных с ними статистических законов, примерно в начале XX в. была разработана новая философская точка зрения на эти вопросы, которая признает объективный и элементарный характер случая и свойства вероятности. Однако в конечном счете эта точка зрения привела к отрицанию какого-либо реального значения детерминированных законов, кроме того, что они являются приближениями к законам вероятности, справедливым, когда мы имеем дело со статистической совокупностью вещей или процессов.

Существенным изменением, внесенным этой новой точкой зрения, явилось введение в теорию элемента произвольности. Вселенная все еще представлялась гигантской механической системой, обладающей следующими свойствами: все в ней может в принципе полностью и идеально быть сведено лишь к результатам чисто количественных изменений соответствующих механических параметров. Но ее поведение не может быть детерминировано полностью определенными законами, которым подчиняются эти параметры, напротив, эта система вселенной может постоянно подвергаться в ходе ее движения нерегулярным изменениям. Поскольку уже предполагается,

что параметры системы описывают все существующее в мире, то очевидно, что этим нерегулярным изменениям неоткуда братья. Таким образом, они не могли иметь характер обычных случайных флуктуаций, представляющий действия несущественных факторов, которые нельзя учесть в рассматриваемом круге явлений. Скорее они представляли бы вид элементарных и несводимых произвольностей или отсутствие закономерностей в поведении мира во всех его подробностях. Такое поведение мы можем назвать «абсолютной случайностью», потому что его нельзя представить себе произвольным и незакономерным по отношению к ограниченному и определенному кругу явлений; скорее оно является таковым во всех возможных кругах явлений.

Однако предполагается, что абсолютная произвольность и отсутствие закономерности в конкретном поведении отдельных явлений не распространяется на статистическую совокупность. Вместо этого предполагается, что законы природы могут быть выражены через *вероятности*, которые определяют, по крайней мере приближенно, длительное и усредненное поведение, могущее иметь место в таких статистических совокупностях. Таким образом, предполагается, что все возможные законы природы выражаются набором чисто количественных соотношений между соответствующими вероятностями. Например, понятия качественного изменения и относительно самостоятельных уровней все еще рассматриваются лишь как приближенные средства рассмотрения определенных крупномасштабных следствий основного и конечного элементарного закона, который является чисто количественным. Но предполагается, что этот закон является вероятностным и индетерминированным.

Приведенная выше точка зрения ясно подчеркивает важную сторону различных форм механистической философии, которая существовала с XVI по XIX в., а именно ее детерминизм. Но при этом она сохранила и фактически усилила центральные и наиболее существенные характерные черты этой философии, а именно предположение о том, что все во всей вселенной может быть сведено полностью и идеально лишь к действиям набора механических параметров, изменяющихся лишь количественно. Тот факт, что детали этих изменений полностью произвольны и не подчиняются законам, од-

нако, не делает такую точку зрения существенно менее механистической по сравнению с точкой зрения, которая предполагает, что эти детали детерминированы соответствующими свойствами самой системы. В действительности введение в теорию абсолютной произвольности и лишение ее закономерностей аналогично рассмотрению в качестве модели мира не идеальной, работающей без трения машины, предложенной Лапласом, а, скорее, идеализированного колеса рулетки, которое дало бы нерегулярное распределение результатов, вообще не зависящее ни от чего (а не от множества факторов, находящихся вне круга рассматриваемых явлений, доступного для игроков, как это бывает при игре в рулетку). Поэтому вопрос о том, что составляет механистическую философию, не сводится к проблеме детерминизма и индетерминизма. По этой причине философию, описанную в этом параграфе, мы будем называть «индетерминистический механицизм», для того чтобы отличать ее от детерминистического механицизма, который мы изложили ранее.

Ядро точки зрения индетерминистического механицизма на случайность изложено в работе Мизеса¹, посвященной теории вероятностей. В этой работе Мизес вводит представление о том, что при истинно неупорядоченном распределении предметов или событий тех типов, к которым мы применяем теорию вероятностей, вообще отсутствуют причинные отношения и что распределение является полностью «лишенным закономерностей». Однако это означает, что, поскольку он допускает, что детерминированные законы могут возникать как приближения к действиям законов вероятности, которые действуют при наличии достаточно большого числа предметов или событий², он предполагает, что не существует аналогичной возможности возникновения законов вероятности как приближений к действию детерминированных законов. Таким образом, с этой точки зрения, *законы вероятности рассматриваются как имеющие более элементарный характер, чем детерминированные законы.*

¹ R. Mises, *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit*, dritte Auf., Wien, Springer, 1951.

² Например, законов, определяющих давление, которое производится большим количеством молекул.

Описанная выше точка зрения была широко развита, но она была доведена до ее логического завершения лишь в связи с обычной¹ интерпретацией квантовой теории. Мы рассмотрим эту проблему более подробно в следующей главе. Однако здесь мы можем упомянуть, что, как было найдено, законы квантовой области имеют в сущности статистический характер, такой, что они вообще выражаются через определенные вероятности. На крупномасштабном уровне эти возможности приводят к практически детерминированным предсказаниям; и таким путем широко известные причинные законы классической механики проявляются в виде статистических приближений. Однако в таком случае предполагается, как мы увидим более подробно в следующей главе, что вероятностная форма современной квантовой теории *никогда* не может быть представлена в виде результата приближения к некоторой совокупности более глубоких и более детерминированных законов. Таким образом, мы приходим к заключению о том, что даже наиболее элементарные законы физики в конечном счете являются лишь законами вероятности и что отдельные процессы и события, происходящие в атомной области, совершенно не подчиняются закономерностям в том смысле, в каком это предложено Мизесом.

Таким образом, мы пришли к интересной противоположности. С одной стороны, механицисты-детерминисты рассматривают случайность как полностью и абсолютно сводимую к приближенному и чисто пассивному отражению детерминированного закона. С другой стороны, механицисты-индетерминисты, так же, как Мизес и сторонники обычной интерпретации квантовой теории, рассматривают детерминированный закон как полностью и абсолютно сводимый к приближенному и чисто пассивному отражению вероятностных отношений, связанных с законами случайности.

Теперь в связи с точкой зрения индетерминистического механицизма должен быть разрешен следующий основной вопрос: являются ли частные детали случайных флуктуаций при каких-либо обстоятельствах пол-

¹ Имеется в виду интерпретация копенгагенской школы физиков, которая до последнего времени была наиболее распространенной среди многих физиков капиталистических стран. — *Прим. ред.*

ностью произвольными и не имеющими закономерного характера по отношению ко *всем возможным кругам явлений*. Пытаясь ответить на этот вопрос, мы прежде всего отметим, что в очень широкой области применений понятия случайности действительно возможно, как мы указывали в главе I, § 8 и 9, по крайней мере *качественно*, показать, что, в достаточной степени расширяя круг явлений, мы находим все более и более точные однозначные причинные отношения, применимые к случайным флуктуациям. Более того, во многих случаях это можно доказать *количественно*. Например, математически было доказано, что существует широкий класс детерминированных следствий, включающих в себя сложную цепь событий или события, определенные большим количеством независимых причинных факторов, которые обладают до какой угодно высокой степени приближения существенно статистическими свойствами, являющимися характерными для распределений, рассматриваемых в теории вероятностей¹. Таким образом, мы видим, что возможность истолкования причинных законов как статистических приближений к законам случая уравнивается соответствующей возможностью истолкования *законов вероятности как статистических приближений к действиям причинных законов*. Однако из этого следует, что первоначальному представлению Мизеса о том, что законы вероятности применимы к «полностью лишенному закономерности» распределению предметов или событий, никогда нельзя будет придать ясный смысл в каких-либо частных проблемах или применениях, ибо всегда имеется возможность того, что любая данная совокупность законов вероятности, применяемая внутри данного круга явлений, может рассматриваться как приближение к новым видам причинных законов, применимых в более широком круге явлений.

Поэтому очевидно, что предположение о том, что флуктуации любого конкретного вида являются произвольными и не обладающими закономерным характером

¹ См., например, H. Weyl, в «Ann. der Mathematik», 77, 333 (1916); H. Steinhaus, в «Studia Mathematica», 13, 1 (1953); G. Klein and T. Prigogine, в «Physica», 19, 74, 89, and 1053 (1953); D. Bohm and W. Schutze, в «Supplemento al Nuovo Cimento», Vol. II, Series X, n. 4, p. 1004 (1955).

относительно всех возможных кругов явлений, как и аналогичное предположение, что существует абсолютный и конечный детерминированный закон, не может быть основано на каких-либо экспериментальных или теоретических открытиях, возникающих из конкретных научных проблем, а, наоборот, является чисто философским предположением. Вопрос о том, желательна ли делать такое предположение, мы обсудим в следующих главах.

§ 15. Краткий обзор механицизма

Мы видели, что философия механицизма, имевшая при рождении во времена Ньютона такие блестящие перспективы, столкнулась с рядом трудных проблем, которые стали особенно серьезными в XIX в. Эти проблемы решались с помощью ряда последовательных приспособлений и видоизменений, которые, однако, сохраняли существенную сторону предположения о том, что в принципе все в конце концов может быть сведено полностью и идеально к первичному набору чисто количественных законов, охватывающих, может быть, одни тела, может быть, тела и поля или, может быть, одни поля. Различные происходящие в материи качественные изменения, а также и существование различных уровней рано или поздно будут рассматриваться просто как результат, который следует полностью и идеально, по крайней мере в принципе, из элементарных количественных законов.

Однако мы видели, что эта точка зрения не совсем согласуется с доступными в настоящее время экспериментальными фактами, ибо дальнейшее развитие физики показало, что различные чисто количественные теории, которые в разное время считались элементарными, являются в действительности приближениями к еще более глубоким и более общим теориям, содержащим качественно новые типы основных сущностей, связанных с соответственно новыми типами законов. Более того, всегда будет открыта возможность того, как это уже часто случалось, что будущие экспериментальные результаты могут обнаружить необходимость дальнейших глубоких изменений в наших основных теориях. В результате не существует возможного пути доказа-

тельства того, что законы различных уровней и качественных изменений *полностью* и *абсолютно* сводимы к законам любой данной количественной теории, сколь бы элементарной эта теория ни казалась.

Проблема вероятности и случайности оказывается особенно трудной для механистической философии, так как, кроме того, что она приводит к проблемам, очень сходным с теми, которые возникают в связи с понятиями уровней и качественных изменений, она поставила механицистов перед трудноразрешимой дилеммой, а именно перед необходимостью решить раз и навсегда и без какой бы то ни было надежды на экспериментальное доказательство следующую дилемму: либо детерминированный закон является элементарной категорией, а случайность и вероятность являются лишь пассивными отражениями, либо случайность и вероятность элементарны, а детерминированный закон является лишь пассивным отражением.

Однако следует заметить, что смысл всех новых достижений, связанных с разработкой структуры понятий физики в течение XIX в., давал основание полагать, что ни одна из различных возможных механистических схем, детерминистских или индетерминистских, которые предлагались в различное время, не является в действительности элементарной, а, скорее, нашей элементарной исходной точкой должно быть все богатство систем естественного закона, описанное в главе I. Эта система подразумевает, что все законы различных уровней и все различные общие виды закона, например качественные и количественные, детерминированные и статистические и т. д., представляют собой различные, но необходимо взаимосвязанные стороны одного и того же процесса. Рассмотрение каждой стороны дает нам приближенное и неполное представление о действительности, которое помогает исправлять ошибки, возникающие в результате того, что при рассмотрении учитываются другие стороны, и при рассмотрении действительности учет каждой стороны дает строгое представление о том аспекте процесса, который недостаточно рассматривается или даже вовсе упускается другими при рассмотрении других сторон. В рамки общей системы можно легко включить описанные нами здесь все новые достижения физики и еще многое

другое. Таким образом, нет необходимости в постоянном выдвигании предположений относительно того, что определенные типы или виды закона являются конечными, из которых все прочее следует полностью и идеально, предположений, которые никогда нельзя доказать экспериментально и которые всегда опровергаются дальнейшим развитием науки. Кроме того, мы можем обойти неразрешимые дилеммы, например принятие окончательного решения без какого-либо возможного экспериментального доказательства следующего вопроса: детерминистичны ли или вероятностны в действительности элементарные законы. Мы осознаем значение вклада, вносимого в наше понимание природы каждым понятием и каждым видом закона, и оставляем на будущее научное исследование проблемы нахождения пределов, в каких любое понятие или вид закона могут с некоторой степенью приближения и при некоторых условиях быть представлены как необходимо вытекающие из любого другого конкретного ряда понятий и видов закона.

После дальнейшего изложения хода развития индетерминистической формы механистической философии в квантовой теории в главе III и предложения новой интерпретации квантовой теории в главе IV мы затем снова вернемся в главе V к этой проблеме для того, чтобы более подробно показать, как современная физика согласуется с вышеупомянутой общей системой естественного закона.

Г л а в а III

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

§ 1. Введение

В предыдущей главе мы рассмотрели эволюцию классической физики, начиная с законов движения Ньютона, включая все новые успехи, достигнутые до конца XIX в. Однако в течение этого времени общими философскими взглядами, разделявшимися физиками, были взгляды детерминистического механицизма. Считалось, что, несмотря даже на неизбежность в конечном счете различных видоизменений деталей существовавших тогда теорий под влиянием будущих экспериментов, основная общая схема, в которой все теории формулируются с помощью дифференциальных уравнений, полностью определяющих будущее поведение всего во вселенной через их состояние в данный момент времени, никогда не должна измениться. Например, лорд Кельвин, один из ведущих физиков того времени, считал, что общий основной контур физических теорий довольно хорошо определен и что на горизонте остаются лишь два «облачка», а именно отрицательные результаты эксперимента Майкельсона — Морли и невозможность объяснить распределение энергии излучения абсолютно черного тела с помощью закона Рэля — Джинса. Следует отметить, что лорд Кельвин знал, как выбирать эти «облачка», поскольку именно эти проблемы привели в конце концов к революционным изменениям в структуре физических понятий, происшедшим в XX в. в связи с теорией относительности и квантовой теорией.

Теория относительности привела к важным видоизменениям конкретного вида формулировки причинных

законов в физике, но она не вышла за рамки существовавшей ранее теоретической схемы, в которой значения соответствующих параметров в данный момент времени должны были определять в принципе навсегда будущее поведение вселенной. Поэтому в настоящей книге мы не будем рассматривать теорию относительности, поскольку книга посвящена прежде всего вопросу причинности, а эта теория не касается вопросов, затрагивающих исходные положения вопроса о причинности.

С другой стороны, с точки зрения рассмотрения проблемы причинности квантовая теория оказала значительно более революционное влияние, чем теория относительности. Действительно, она была первым примером *существенно статистической* теории в физике, так как квантовая механика не исходит из истолкования законов отдельных микрообъектов и затем применения к ним статистических рассмотрений, как это делается в классической механике (см. главу II, § 14). Скорее, с самого начала она рассматривает совокупность законов, которые вообще позволяют делать лишь статистические предсказания, даже не ставя вопрос о том, каковы могут быть законы индивидуальных систем, которые входят в статистические совокупности, рассматриваемые теорией. Более того, как мы увидим, принцип индетерминированности Гейзенберга¹ привел физиков к выводу, что в исследованиях, проведенных на квантовомеханическом уровне точности, никогда не могут быть найдены точные причинные законы детального поведения таких индивидуальных систем, и, таким образом, они были вынуждены в атомной области отказаться от причинности как таковой.

Однако мы увидим, что принцип индетерминированности требует отказа от причинности, как только мы предположим, что этот принцип является абсолютно и окончательно справедливым (то есть без всякого приближения и в каждой области, которая когда-либо будет использована в физике). С другой стороны, если мы

¹ «Принцип неопределенности» Д. Бом сознательно называет «принципом индетерминированности», который, как считает Д. Бом, более соответствует сущности взглядов В. Гейзенберга на квантовую механику. — *Прим. ред.*

предполагаем, что этот принцип применим лишь как хорошее приближение и лишь в некоторой ограниченной области (в которой более или менее удовлетворительно должна быть применима существующая форма квантовой теории), то в новых областях остается возможность применения новых видов причинных законов. Например, как мы увидим, имеется достаточное основание предполагать существование субквантовомеханического уровня, более элементарного, чем рассматривающийся современной квантовой теорией. На этом новом уровне могут действовать качественно новые виды законов, приводящих к законам современной теории как к приближениям и предельным случаям, подобно тому, как законы атомного мира приводят к законам макроскопического мира. В таком случае принцип индетерминированности должен применяться лишь на квантовом уровне и не должен касаться более глубоких уровней. Следовательно, можно сказать, что рассмотрение принципа индетерминированности как абсолютного и предельного является произвольным ограничением научных теорий, поскольку он не следует из квантовой теории как таковой, а следует скорее из предположения о неограниченной справедливости некоторых ее сторон предположения, которое никоим образом не может быть подвергнуто экспериментальной проверке.

Мы видим, следовательно, что в некотором отношении физики XX в. продолжили классические традиции понимания *общих* черт их теоретических схем как не подверженных видоизменениям в будущем в новых областях или при более точных исследованиях уже известных областей. Но эти общие черты не согласуются с детерминистической механистической схемой, а согласуются скорее с индетерминистической механистической схемой. Однако индетерминистский механицизм в данном случае принимает более тонкую форму, чем он имел в более ранних вариантах, описанных в главе II. Таким образом, хотя очень многие сторонники обычной интерпретации квантовой теории имели определенную цель выйти за пределы механистической философии, на самом деле они лишь перешли от детерминистического механицизма к индетерминистическому.

§ 2. Возникновение квантовой теории¹

Первые доводы в пользу квантовой теории были указаны в работах Планка и Эйнштейна. Напомним, что для классической физики было характерно предположение, что тела, из которых составлено вещество, движутся непрерывно и непрерывно обмениваются энергией с электромагнитными волнами, например световыми волнами, что мы рассматривали в предыдущей главе. С другой стороны, Планк и Эйнштейн, изучая некоторые эксперименты, в которых вещество обменивалось энергией со светом, пришли к заключению, что свет передает веществу энергию в виде «квантов» или порций величины $E = h\nu$, где ν — частота световой волны, а h — универсальная постоянная, которая позднее была названа постоянной Планка.

Рассмотрим теперь некоторые из этих экспериментов более подробно. Для этого прежде всего необходимо более углубленно рассмотреть классическую теорию. Согласно тем выводам, которые вытекают из объяснений фактов интерференции и дифракции, рассматривавшихся нами в предыдущей главе, свет представляет собой волновой процесс. Уравнения Максвелла и эксперименты, такие, как эксперименты Герца, являлись сильным доводом в пользу электромагнитной природы света. Так же, как волна на поверхности воды может быть создана телом, движущимся по вертикали, возмущающим поверхность воды, электромагнитная волна может возникнуть при колебательном движении заряженной частицы в пространстве, например электрона, причем он возбуждает электрическое и магнитное поля. В обоих случаях волна распространяется непрерывно. В случае электронов это движение может порождать световые волны, радиоволны или другие типы электромагнитных волн в зависимости от частоты. Волны на поверхности воды могут приводить плавающие предметы в колебательное движение, энергия которого будет пропорциональна интенсивности волн. Аналогично в случае световых волн электромагнитные поля будут действовать на заряженные частицы, например электроны, и сообщать

¹ Более подробно этот вопрос изложен в книге D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice Hall, New York, 1951, ч. 1.

им колебательное движение, энергия которого будет пропорциональна интенсивности световой волны.

Эта теория проверялась экспериментально путем изучения фотоэлектрического эффекта. Пусть свет падает на металлическую поверхность A , находящуюся в откачанной стеклянной трубке (см. рис. 2). Предыдущие эксперименты показали, что в металлах в большом количестве имеются электроны. Таким образом, иногда электроны могут высвобождаться с освещенной металлической поверхности. Поэтому в трубку была помещена пластинка B , предназначенная для сбора электронов, которые могут быть высвобождены с освещенной поверхности A . Эти электроны должны вызвать электрический ток, который может быть измерен с помощью гальванометра G .

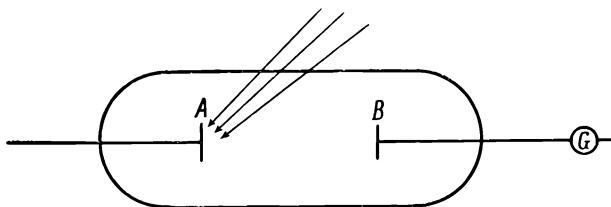


Рис. 2.

Первый результат эксперимента состоял в том, что при освещении пластинки A гальванометр действительно регистрировал ток, таким образом показывая, что свет высвобождает электроны с металлической поверхности. Следующим шагом является измерение энергии этих электронов. Это делается путем установления между A и B электрической разности потенциалов в таком направлении, чтобы она не дала возможности электронам достигнуть пластинки B . Таким образом, при увеличении разности потенциалов все большее количество электронов не достигнет пластинки; и при определенном критическом значении ток станет равным нулю. Ясно, что это критическое значение равно *максимальной* кинетической энергии, которую имеют освобождающиеся электроны. Более тщательный анализ зависимости тока от потенциала позволяет получить распределение кинетических энергий электронов. Анализ данных такого эксперимента дал следующие результаты.

Когда пластинка A освещена светом с частотой ν , электроны получают равное количество энергии $E = h\nu$, которое зависит только от частоты света и не зависит от его интенсивности. Таким образом, когда интенсивность света очень слаба, электроны получают *ту же* энергию $E = h\nu$, но соответственно освобождается меньшее количество электронов.

Этот результат находится в прямом противоречии с предсказаниями классической теории, которая утверждает, что приобретаемая энергия должна *непрерывно* зависеть от интенсивности излучения так, что при более слабом свете электроны должны приобретать меньшее количество энергии. Действительно, взятый *сам по себе* этот эксперимент должен навести на мысль о том, что свет состоит не из волн, а из роя дискретных корпускул с энергией $E = h\nu$, так что, когда одна из частиц соударяется с электроном, она может передать ему дискретное количество энергии $E = h\nu$. Слабая световая волна должна содержать небольшое количество таких частиц, а интенсивная волна — большое. Эта модель уже была фактически предложена ранее Планком на основе изучения распределения энергии в спектре излучения нагретого абсолютно черного тела. Планк показал, что классическая теория привела к совершенно определенному предсказанию этого распределения энергии, которое оказалось ошибочным. Но предположение о том, что энергия существует в виде порций или квантов с энергией $E = h\nu$, очень хорошо объясняет эти эксперименты. Та же самая постоянная h , которая была необходима в теории Планка, дала возможность правильно предсказать энергию электронов в фотоэлектрическом эффекте. Таким образом, был получен очень сильный довод в пользу того, что световая энергия существует в действительности в виде квантов.

С другой стороны, тот факт, что свет состоит из дискретных частиц, приходит в противоречие с экспериментами по интерференции, из которых, по-видимому, следует, что свет является *непрерывной* формой волнового движения. Рассмотрим, например, обсуждавшийся нами в предыдущей главе эксперимент, в котором луч света падает на экран, проходя через две щели. Если открыта лишь первая щель A , мы получаем на экране определенное более или менее равномерное распределе-

ние интенсивности светового изображения. Но, если открыта и другая щель B , мы получаем на экране ряд чередующихся светлых и темных полос. Таким образом, когда мы открываем вторую щель B , некоторые точки экрана оказываются неосвещенными, хотя они освещены, когда открыта лишь одна щель A . Это было объяснено с помощью предположения, что движения, вызываемые волнами, проходящими через вторую щель, могут в некоторых точках гасить движения, вызываемые волнами, проходящими через первую, что приводит к неосвещенности некоторых точек экрана. Но если свет состоит из роя частиц, то вообще следует ожидать, что открытие второй щели *увеличит* количество света, достигающего каждой точки экрана, или, по крайней мере, не *уменьшит* его.

С первого взгляда можно подумать, что это явление можно объяснить, предполагая, что свет состоит из роя квантов, взаимодействующих между собой так, что, когда открыты обе щели, пути частиц света должны изменяться таким образом, что они не могут достигать неосвещенных частей экрана. Но последующие эксперименты, поставленные С. И. Вавиловым, в которых использовался столь слабый свет, что в прибор одновременно мог входить лишь один квант, показали, что это объяснение не является основательным, так как в этом случае каждый отдельный квант освобождает единичный электрон. Но после того, как сквозь систему прибора прошло большое количество квантов, причем каждый прошел отдельно и независимо, возникает статистическая картина в расположении точек, где были освобождены электроны; и эта картина будет приближаться к классической картине чередования светлых и темных полос. Таким образом, открытая вторая щель может помешать *отдельным* и *независимым* квантам достигнуть определенных неосвещенных точек картины, которых они могли бы достичь, если бы эта щель была закрыта. Следовательно, *даже отдельный квант обнаруживает некоторые волновые свойства*. С другой стороны, он, кроме того, обнаруживает некоторые корпускулярные свойства не только потому, что он сообщает электрону квант энергии $E = h\nu$, но также и потому, что в потоке, содержащем небольшое количество квантов, *существуют статистические флуктуации времени и места*

освобождения электрона, которые являются как раз такими, какими они и должны быть, если бы поток частиц был распределен в пространстве очень неупорядоченным или «случайным» образом (например, такими, какие следовало бы ожидать, если бы частицы излучались некоторым источником, претерпевающим хаотическое молекулярное движение).

Видимо, мы сталкиваемся с парадоксом. Один ряд экспериментов дает основание считать, что свет является формой волнового движения, а другой дает столь же сильные основания считать, что он состоит из дискретных частиц или квантов. Однако, как следует решать этот парадокс, мы рассмотрим позднее. А пока мы продолжим изложение развития квантовой теории.

Следующий шаг связан с именем Бора. Ко времени создания его теории было выполнено большое количество исследований, которые приводили к заключению о том, что вещество состоит из атомов и что эти атомы в свою очередь состоят из легких отрицательно заряженных частиц, называемых электронами, которые вращаются вокруг тяжелого положительно заряженного ядра так же, как планеты вращаются вокруг Солнца. Когда электрон вращается вокруг ядра, он должен излучать электромагнитные волны, с частотой, совпадающей с частотой вращений. Эту частоту можно было вычислить, и она оказалась равной 10^{15} периодов в секунду, то есть величине, примерно равной частоте видимого света. Таким образом, можно было качественно объяснить, как вещество излучает свет.

Однако при более подробном изучении процесса излучения света был обнаружен ряд серьезных противоречий между существующей теорией и экспериментом. Наиболее поразительное противоречие возникло из почти тривиального на первый взгляд простого факта стабильности атомов, так как, согласно классической теории, движущаяся заряженная частица, например электрон, должна терять энергию вследствие излучения электромагнитных волн с интенсивностью, которая, как показывают вычисления, основанные на уравнениях Максвелла, пропорциональна квадрату ускорения электрона. Ускорение электрона, движущегося по круговой орбите, всегда направлено к центру атома. Таким образом, он должен непрерывно терять энергию. Эта энер-

гия может иметь лишь один источник — потенциальную энергию притяжения электрона ядром. Поскольку потенциальная энергия уменьшается, электрон должен упасть на ядро. Таким образом, мы предсказываем, что электрон будет двигаться по спиральной орбите и достигнет ядра, как показывают вычисления, спустя малые доли секунды. Однако в действительности электрон перестает излучать, когда достигает нормальной орбиты с определенным радиусом, характерной для рассматриваемого атома¹, на которой он после этого остается неопределенно долго, пока не будет возбужден. Следовательно, должен присутствовать некоторый новый фактор, не учитывавшийся в классической теории, который должен объяснить прекращение излучения электроном после того, как он достигает атомной орбиты нормального радиуса.

Другое важное противоречие между классической теорией и экспериментом возникло при подробном изучении частот излучения атомов. По классической теории, должна существовать непрерывная область возможных размеров орбит электронов. И, поскольку различные размеры орбиты приводят, вообще говоря, к различным частотам обращения электрона вокруг ядра, должна существовать соответствующая непрерывная область частот излучаемого света. Действительно, вследствие хаотического характера движения на атомном уровне данное вещество, например трубка с газобразным водородом, должно содержать атомы с хаотически распределенными размерами орбит в области, которая из-за большого количества атомов (10^{20} или больше) практически должна выглядеть непрерывной. Таким образом, должен излучаться свет, частота которого должна заполнять непрерывную область. Однако в действительности экспериментально получены лишь определенные дискретные частоты.

Бор очень тщательно проанализировал эту проблему и в конце концов смог разрешить вышеупомянутые противоречия классической теории с экспериментом (а также и ряд других, не упоминавшихся здесь) с помощью совершенно новых гипотез. Он постулировал,

¹ Эксперименты показали, что атомы имеют размер примерно 10^{-8} см.

что непрерывная область орбит, разрешенная классической теорией, в действительности не является возможной и что электрон может находиться лишь на определенных дискретных (то есть квантовых) орбитах, как это изображено на рис. 3. Постулируя, что среди них имеется наименьшая возможная орбита (обозначенная на рисунке буквой *A*) с наименьшей возможной энергией, он сразу же объяснил стабильность атомов, так как электрон, попав однажды на орбиту, не смог бы больше

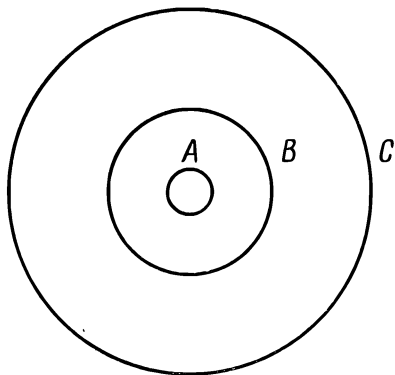


Рис. 3.

терять энергию, потому что уже не существует доступных для него орбит, орбит с более низкой энергией. Таким образом, он должен оставаться на орбите до тех пор, пока не будет возбужден извне.

Если по той или иной причине электрон находится, скажем, на орбите *C* и имеет энергию E_C , более высокую, чем на нижней орбите, то Бор постулировал, что он может перескакивать с этой орбиты на более низкую, например на орбиту *B*, излучая *полную* разность энергий $E_C - E_B$ в виде одного кванта света, с частотой, определяемой правилом частот Бора $E_C - E_B = h\nu$. Из этого постулата вытекает следующее: могут излучаться лишь дискретные частоты света, соответствующие дискретным переходам между различными возможными энергетическими уровнями.

Разрешив *качественно* противоречия между теорией и экспериментом, Бор вывел далее *количественное* пра-

вило, которое позволило ему вычислить дозволенные энергетические уровни и соответствующие частоты излучаемого света сначала для атомов водорода, а позднее для некоторых других простых видов атомов. Это количественное правило позволило для этих случаев предсказывать частоты с очень высокой степенью точности. Эти предсказания очень сильно повысили правдоподобие теории, так как они охватили столь большое количество частот и достигли столь высокого уровня точности, что было трудно поверить в то, что согласие теоретических предсказаний с экспериментом является случайностью.

Таким образом, Бор представил очень убедительный довод в пользу представления о том, что не только энергия света, но также и энергия электронов в атоме, проявляется в виде дискретных порций или квантов. Дальнейшие исследования, которые мы здесь не будем рассматривать, установили аналогичную дискретность *всех* форм энергии. Другими словами, был обнаружен принципиальный «атомизм» энергии вообще. Однако величина основных единиц зависит от всевозможных условий. Например, для света они были пропорциональны частоте, а для атомов они связаны более сложным соотношением.

Однако следует подчеркнуть, что не было объяснено, почему энергия имеет атомистический характер. Атомизм только *постулировался*, а на базе постулата были объяснены многие свойства атомов и излучения, противоречившие выводу классической физики о том, что энергия может изменяться непрерывным образом. Более того, не было предложено объяснения для процесса излучения и поглощения, во время которых электрон, очевидно, должен перейти с одной дискретной орбиты на другую. На этом этапе теории просто принимается, что эти процессы как-то происходят, и есть надежда, что позднее будет лучше понято, как именно они происходят (так же как есть надежда решить проблему самого существования дискретных орбит).

Первый шаг к более глубокому пониманию дискретных энергий атомных орбит был сделан де Бройлем. Исходная позиция де Бройля состояла в предположении, что как световые волны имеют корпускулярный характер, так и атомные частицы могут также иметь волновой

характер. При этом он руководствовался тем, что много различных видов классических волн имеют набор дискретных *частот*. Например, частоты закрепленной на обоих концах струны должны быть целыми кратными или «гармониками» некоторой «основной» частоты, определяемой длиной, линейной плотностью и натяжением струны. Аналогично звуковые волны в замкнутом объеме могут иметь лишь дискретные частоты, находящиеся между собой в более сложном соотношении, чем соотношение целых кратных. Вообще можно показать, что любая волна, колебания которой ограничены в определенном объеме, имеет дискретные возможные частоты колебаний.

Затем де Бройль постулировал, что существует новый вид волны, связанной с электроном. Что касается истинной природы этой волны, то большая часть ее свойств не имеет значения на этом уровне теории. В данном случае важно лишь то, что, если она ограничена размерами атома, она будет иметь дискретные частоты колебаний. Если мы теперь постулируем, что соотношение Эйнштейна $E = h\nu$, связывающее энергию волны с ее частотой, применимо к этим волнам так же, как оно применимо к световым волнам, то *дискретные частоты* будут иметь смысл *дискретных энергий*.

Следующий шаг состоял в том, чтобы качественную теорию облечь в количественную форму. Де Бройль сделал это, показав на основе выводов, следующих из теории относительности, что соотношение Эйнштейна $E = h\nu$ приводит к другому соотношению $p = h/\lambda$, связывающему длину волны λ этих волн с импульсом p электрона. Когда была произведена оценка длины волны λ для электрона с типичным импульсом, встречающимся в обычных экспериментальных условиях, то оказалось, что она имеет порядок атомных размеров. Теперь из экспериментов со световыми и другими видами волн мы уже знаем, что волновой характер проявляется отчетливо лишь когда волна встречает препятствие, размер которого ненамного больше длины волны; в иных случаях она движется практически по прямой, как будто она является частицей. Таким образом, на крупномасштабном уровне волны де Бройля не проявлялись бы отчетливо, и электрон вел бы себя как классическая частица. Однако на атомном уровне волны,

связанные с электроном, должны привести к новым важным эффектам. Среди них должны были бы появляться дискретные частоты колебания, возникающие в результате ограничения области местонахождения волн размерами атома. Используя открытое им соотношение ($p = h/\lambda$) и соотношение Эйнштейна $E = h\nu$, де Бройль смог затем вычислить как частоты, так и соответствующие энергии возможных дискретных видов колебания этих волн; и в результате этих вычислений он получил энергии, в точности совпадающие с энергиями, получающимися из теории Бора. Таким образом, боровские энергетические уровни были объяснены с помощью гипотетической волны *при условии, что дополнительно предполагается наличие связи энергии этой волны с ее частотой в виде соотношения Эйнштейна $E = h\nu$.*

Последующие эксперименты, выполненные Дэвиссоном и Джермером по рассеянию электронов на металлических монокристаллах, обнаружили статистическую картину сильного и слабого рассеяния, очень похожую на распределение света, получающееся при прохождении пучка световых квантов через набор щелей. Это дало основание полагать, что, быть может, здесь проявляются постулированные де Бройлем волны и что правильное расположение атомов в кристалле играет ту же роль, которую играет набор щелей в экспериментах по оптической интерференции. Когда на основе наблюдающейся картины сильного и слабого рассеяния была вычислена длина предполагаемой волны, то было найдено, что она совпадает со значением, полученным по формуле де Бройля. Таким образом, догадка о том, что электроны обладают некоторыми волновыми свойствами, получила блестящее экспериментальное подтверждение. Позднее подобные эксперименты показали, что другие частицы, например молекулы, нейтроны и т. д., обладают аналогичными волновыми свойствами, также удовлетворяющими соотношению де Бройля. Таким образом, к настоящему времени сложилась точка зрения, что *вся материя* имеет такие волновые свойства.

Тем временем волновая теория де Бройля была развита в гораздо более строгую форму Шредингером, который получил для этих волн дифференциальное уравнение в частных производных, определяющее их движение таким же образом, как уравнения Максвелла

определяют движения волн в электромагнитном поле. Уравнения Шредингера позволяют строго вычислить энергетические уровни очень широкой совокупности атомных систем, которые нельзя было рассматривать ни по теории Бора, ни по теории де Бройля; и такие расчеты во всех случаях привели к очень внушительному согласию с экспериментом. Более того, уравнение Шредингера позволяет непрерывно рассматривать характер движения волн во время перехода с одного дозволенного энергетического уровня на другой и, таким образом, позволяет надеяться, что тайна, окутывающая вопрос о том, как происходит переход между дозволенными энергетическими уровнями, может быть, будет раскрыта.

С этой точки зрения были открыты новые и до некоторой степени явно парадоксальные ограничения, накладываемые на волновую теорию, так как первоначально Шредингер предложил считать электрон непрерывным распределением заряда. Он предположил, что плотность этого заряда связана с волновой амплитудой ψ соотношением $\rho = |\psi|^2$. Таким образом, волны де Бройля и Шредингера следует истолковывать как волны электрического заряда. В пользу этого вывода говорит следующее. Если электрический заряд предполагался связанным с амплитудой волны вышеприведенным соотношением, то уравнение Шредингера автоматически приводило к выводу о том, что полная величина заряда должна оставаться постоянной независимо от способа перемещения (то есть должна сохраняться), что показывало, таким образом, состоятельность подобного истолкования.

Однако, к сожалению, истолкование было пригодно, лишь когда волны Шредингера оставались ограниченными внутри атома. Для свободного пространства простой расчет показывает, что, согласно уравнению Шредингера, волна должна быстро и неограниченно расплываться по всему пространству. С другой стороны, электрон всегда в действительности находится внутри сравнительно небольшой области пространства, так что плотность его заряда вообще со всей очевидностью не может иметь значение $\rho = |\psi|^2$, постулированное Шредингером.

Для того чтобы решить эту проблему, Борн предложил считать, что интенсивность волны представляет не

действительную плотность заряда электрона, а, скорее, *плотность вероятности*, с которой электрон, понимаемый как малая локализованная частица, будет находиться в определенном месте. Таким образом, факт распространения волновой амплитуды свободного электрона по всему пространству больше не находится в противоречии с нахождением самого электрона в определенной точке. Постоянство $|\psi|^2$ тогда можно истолковывать как факт того, что полная вероятность местонахождения частицы где-то в пространстве с течением времени остается равной единице.

Экспериментально невозможно проверить гипотезу Борна *непосредственно* путем наблюдения локализации частиц в статистической совокупности, но ее можно проверить *косвенно*. Так, при переходе между дозволенными энергетическими уровнями изменение волны Шредингера от одного рода колебаний к другому в таком случае нужно истолковывать как непрерывное изменение вероятности того, что электрон имеет ту или иную энергию¹. Таким образом, стало возможным вычислять *вероятности перехода* между энергетическими уровнями при различных условиях; было найдено, что эти вероятности находятся в согласии с экспериментом. Итак, большое количество косвенных доводов в пользу гипотезы Борна к настоящему времени привело к тому, что вообще физики приняли борновскую интерпретацию шредингеровской волновой функции ψ как правильную.

Теперь подведем итоги полученных результатов:

1) Энергия вообще обнаруживает определенный атомизм как в виде световых квантов, так и в форме дискретных дозволенных энергетических уровней для вещества.

2) Все проявления вещества и энергии, видимо, можно рассматривать с двух возможных сторон — с волновой и с корпускулярной. Численное значение энергии E в корпускулярных проявлениях всегда было связано с частотой ν волновых проявлений соотношением Эйнштейна. Численное значение импульса p

¹ Следовательно, проблема описания того, что действительно происходит при конкретном процессе перехода, все же не была решена. Согласно интерпретации Борна, волна Шредингера относится лишь к поведению статистического ансамбля в среднем.

в корпускулярных проявлениях аналогично связано с длиной волны соотношением де Бройля $p = h/\lambda$.

3) Основные законы атомной физики, видимо, являются статистическими по форме. Так, волновая функция Шредингера позволила вообще лишь предсказывать вероятность того, что при наблюдении атомной системы может наблюдаться определенный результат. Аналогично эксперименты с пучком световых квантов (а также последующая детальная теория квантовой электродинамики) показали, что время и место высвобождения фотоэлектронов испытывают неупорядоченные статистические флуктуации и что вообще можно предсказать лишь, видимо, вероятность такого процесса.

Тем не менее *некоторые* свойства индивидуальных систем можно предсказать точно, например энергетические уровни.

§ 3. О проблеме причинного объяснения квантовой теории

В этом пункте физики столкнулись с очень сложной проблемой. Был обнаружен ряд довольно загадочных общих свойств материи, включая своеобразное сочетание волновых и корпускулярных свойств, которые представляются трудно объяснимыми, так же как и очень странное сочетание детерминистского и статистического аспектов, которое ранее никогда не встречалось. Тем не менее, хотя новые явления были весьма необычными, ни в коем случае нельзя было сказать, что они вовсе не дают основания для их причинного истолкования.

Для того чтобы сделать более ясной позицию, в конечном счете занятую большинством физиков-теоретиков по поводу интерпретации квантовой теории, а также сделать более ясной критику этой позиции, на чем мы остановимся позднее в настоящей главе, мы изложим здесь очень краткие наброски общего характера, указывающие на возможную линию исследования, на которой можно найти причинное объяснение квантовой теории. Однако более детальные предложения относительно цели, которую преследует эта точка зрения, мы изложим лишь в следующей главе. Сейчас главной целью рассмотрения явится просто попытка более четкого выяснения смысла обычной интерпретации квантовой тео-

рии путем введения противоположной точки зрения. Как по корешку чековой книжки можно узнать, какие были выписаны чеки, введение противоположной точки зрения будет способствовать выяснению того, что отрицает обычная точка зрения.

Для того чтобы показать пути, по которым можно было бы искать такое причинное объяснение квантовой теории, мы начнем с пункта 3, с наличия своеобразного сочетания статистических законов, которым подчиняется поведение индивидуальных объектов. До сих пор в физике (как и в других отраслях знания), когда встречались неупорядоченные статистические флуктуации поведения индивидуальных объектов совокупности, то предполагалось, что эти неупорядоченные флуктуации также имеют причины, которые, однако, были нам не известны, но которые со временем могут быть обнаружены. Так, в случае броуновского движения был выдвинут постулат, что причины видимого неупорядоченного движения спор находятся на более глубоком и еще пока невидимом уровне атомного движения. Следовательно, не предполагалось, что *все* факторы, определяющие неупорядоченные изменения в броуновском движении, существуют на уровне самого броуновского движения, а скорее предполагалось, что большинство из них существует на уровне атомных движений. Поэтому, если мы изучаем уровень самого броуновского движения, можно ожидать, что мы рассматриваем вообще лишь статистические повторяемости, но для изучения точных деталей движения этот уровень не будет полным.

Аналогично можно предположить, что на современной стадии развития квантовая теория также недостаточно полна для рассмотрения всех деталей движения отдельного электрона, светового кванта и т. д. Для рассмотрения таких деталей мы должны перейти на некоторый, но пока не известный более глубокий уровень, который так же относится к атомному уровню, как атомный уровень к уровню броуновского движения. Конечно, некоторые свойства на атомном уровне являются детерминированными, но это не создает принципиальных трудностей, поскольку вполне возможно, что факторы, детерминирующие именно эти свойства, могут быть определены только на атомном уровне, в то время как факторы, детерминирующие эти другие

свойства, не могут быть определены. Таким образом, мы можем понять, почему атомная теория вообще имеет дело с вероятностями, даже если она может предсказать некоторые свойства индивидуальных систем.

Если мы допускаем, что полная система понятий существующей квантовой теории не может быть достаточной для рассмотрения всех свойств индивидуальных систем, то перед нами открывается неограниченное количество новых возможностей, поскольку в нашем распоряжении имеются полностью не известные до сих пор свойства более глубокого уровня. Например, мы уже видим, как можно качественно объяснить соотношение Эйнштейна $E = h\nu$, связывающее частоту колебания с его энергией. Так, даже в классической физике было известно много примеров колебаний, удовлетворяющих *нелинейным* уравнениям¹, для которых существовали лишь определенные дискретные устойчивые частоты колебания, и энергия была связана определенным образом с частотой (например, движения электрона в синхроциклотроне²). Правда, ни для одной из этих классических систем не выполняется конкретное соотношение $E = h\nu$. Но существенно то, что для них имеется некоторое определенное соотношение между энергией и частотой, которое зависит от конкретной формы уравнений осциллятора и которое в свою очередь зависит от конкретной рассматриваемой физической системы. Таким образом, предполагается, что на субатомном уровне мы должны иметь дело с системами некоторого рода, для которых существует нелинейная система уравнений, описывающая ее колебания с таким типом нелинейности, которая приводит к дискретным частотам колебаний, удовлетворяющим соотношению Эйнштейна $E = h\nu$ (и, кроме того, соотношению де Бройля $p = h/\lambda$). Если бы этого можно было достигнуть, то мы автоматически смогли бы объяснить появление дискретных энергетических уровней вещества и появление электромагнитной энер-

¹ Линейным является уравнение, сумма двух решений которого также является решением того же уравнения. Нелинейное уравнение этим свойством не обладает. По этой причине его значительно труднее рассматривать математически, поскольку вообще между его решениями не существует простых соотношений.

² См., например, D. Bohm, L. Foldy в «Phys. Rev.» 72, 649 (1947).

гии в виде квантов. Более того, были бы также объяснены переходы между дискретными энергетическими уровнями, так как хорошо известно, что для классических систем, удовлетворяющих нелинейным уравнениям, между частотами устойчивых колебаний существуют области неустойчивости, в которых система стремится быстро перейти от одного устойчивого колебания к другому. Если мы предполагаем, что эти переходы являются очень быстрыми по сравнению с процессами, происходящими на атомном уровне, то, учитывая лишь чисто атомные явления, их можно рассматривать как фактически непрерывные. Тем не менее на более глубоком уровне они являются непрерывными. Таким образом, на определенном уровне мы объясняем «атомизм» энергии, но, кроме того, мы можем представить себе, что на более элементарном уровне эти «неделимые атомы энергии» являются делимыми, так как, например, было найдено, что атомы вещества, первоначально на определенном уровне считавшиеся неделимыми, на более элементарном уровне оказываются разложимыми на электроны, протоны и нейтроны.

§ 4. Принцип индетерминированности

Из предыдущего рассмотрения мы видим, что вообще перспективы нахождения причинного качественного объяснения квантовой теории были отнюдь не безнадежны. Тем не менее большинство физиков в то время по различным соображениям, частично практического, частично философского характера, не стремились идти по такому пути. Практические соображения вытекали из необходимости развития сложной теории на основе небольшого количества экспериментальных фактов, что сверх того требовало решения некоторых пока нерешенных очень сложных математических проблем (то есть решения нелинейных уравнений). Философские соображения основывались на известном принципе индетерминированности Гейзенберга, который мы сейчас и рассмотрим.

Для того чтобы подойти к рассмотрению принципа индетерминированности, мы можем задать себе следующий вопрос: «Предположим, что в основе неупорядоченного, но строго определенного движения электрона ле-

жит нечто, возникающее на более глубоком уровне, которое могло бы объяснить вероятности, определяемые волновой функцией Шредингера ψ . Возможно ли было бы путем фактического наблюдения движения установить его характер?» Так, первая довольно прямая детерминированность характера неупорядоченного движения на атомном уровне вытекала из наблюдений соответствующего неупорядоченного броуновского движения тел, малых, но тем не менее намного больших, чем атом. Аналогично характер неупорядоченного движения на субатомном уровне мог бы, вероятно, быть установлен с помощью некоторой остаточной нерегулярности движений электрона в атоме.

Для того чтобы ответить на этот вопрос, мы можем проанализировать процесс наблюдения атомной частицы, например электрона, движущегося вокруг ядра. Рассмотрим сначала процесс наблюдения ее с помощью микроскопа. Тогда, поскольку используемый в микроскопе свет всегда проявляется в виде дискретных порций или квантов, мы не можем пренебречь действием на электрон, возникающим при его рассмотрении, так как для того, чтобы увидеть его, мы должны использовать по крайней мере один квант света. И когда этот квант сталкивается с электроном, то будет иметь место минимальное искажение движения последнего, вызываемое светом, который мы используем в процессе наблюдения.

Энергия кванта равна $E = h\nu$. Это наводит на мысль о том, что для уменьшения возмущения мы могли бы использовать электромагнитные волны малой частоты, так что, таким образом, мы имеем меньший квант. Но здесь мы встречаемся с другой трудностью. Свет действует не только как частица, но также и как волна. С помощью волновой теории света можно показать, что световая волна, распространяющаяся из определенной точки P (см. рис. 4), через линзу не образует определенной точки изображения, P^1 , а, напротив, образует небольшое размытое изображение, размеры которого пропорциональны длине волны. Но длина волны обратно пропорциональна частоте ν . Таким образом, если частота низка, длина волны будет велика; и изображение в микроскопе будет настолько плохим, что мы не будем точно знать местонахождение электрона.

Поэтому мы сталкиваемся с двумя трудностями. Вследствие корпускулярного характера света мы не можем избежать искажения импульса частицы, которое создает непредсказуемую и неконтролируемую ошибку¹, которую мы обозначим Δp .

Вследствие волнового характера света мы не можем избежать неопределенности Δx в положении электрона, вытекающей из недостаточной резкости изображения. Простой расчет, который однако мы здесь опустим, приводит к соотношениям индетерминированности Гейзенберга, $\Delta p \Delta x \cong h$, где h — постоянная Планка.

Этот результат показывает, что имеет место взаимное соотношение между возможной точностью определения импульса и положения. Чем точнее мы определяем положение, тем менее точно мы можем определить импульс, и наоборот. Более точное определение положения требует использования света с короткими длинами волн, так что при этом электрону сообщается большой, но непредсказуемый и неконтролируемый импульс; тогда как точное определение импульса требует использования световых квантов с очень малым импульсом (и, следовательно, с большой длиной волны), что приводит к большому углу дифракции в линзе и соответственно неточному определению положения.

С первого взгляда кажется, что возможно было бы попытаться уменьшить неопределенность измерения путем наблюдения электрона не с помощью его взаимодействия с квантами, а иным путем. Например, были разработаны электронные микроскопы, которые могли

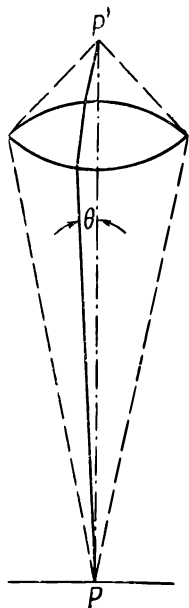


Рис. 4.

¹ Ошибка является непредсказуемой и неконтролируемой потому, что в существующей квантовой теории нельзя знать или контролировать заранее точный угол θ , под которым квант света проходит через линзу. Это приводит к неопределенности в передаваемом электрону импульсе. Если бы мы знали угол θ , мы могли бы найти величину передаваемого импульса ($\Delta p \cong h \sin \theta / \lambda$) и ввести соответствующую поправку так, чтобы в импульсе электрона не было неопределенности.

фокусировать пучки электронов. Таким образом, мы могли бы заменить пучок световых квантов на пучок электронов. Более глубокое изучение проблемы показывает, однако, что это существенно не изменит ситуации, ибо, как мы видели, *вся* энергия проявляется в виде квантов и все вещество ведет себя и как волна, и как частица. Поэтому в квантовой теории подразумевается, что соотношения индетерминированности будут также применимы к наблюдениям с помощью электронного микроскопа и фактически к наблюдениям с помощью любого другого вида приборов, которые мы пожелаем попытаться изобрести.

Положение квантовой теории о том, что *каждый* процесс измерения будет подвержен тем же самым первичным ограничениям точности, привел Гейзенберга к рассмотрению соотношений индетерминированности, например $\Delta p \Delta x \cong h$, как проявления очень фундаментального и всепроникающего общего принципа, который действует во всех естественных законах. Так, вместо того чтобы рассматривать соотношения индетерминированности прежде всего как следствие из квантовой теории в ее нынешнем виде, он прямо постулирует эти соотношения как основной закон природы и предполагает, что все другие законы должны быть согласованы с этими соотношениями¹.

Таким образом, он в сущности предполагает, что соотношение индетерминированности должно иметь абсолютную и окончательную справедливость, которая будет сохраняться неопределенно долго, даже если, что, по-видимому, очень вероятно, современная форма квантовой теории в конечном счете будет исправлена, расширена и даже фундаментально и революционно изменена. Действительно, общая точка зрения Гейзенберга (и большинства сторонников обычной интерпретации квантовой теории) состоит в том, что любые успехи в развитии физики будут достигнуты на пути еще большего уменьшения точности в определении поведения объектов, чем это можно сделать в рамках

¹ В. Гейзенберг, Физические принципы квантовой теории, Л.—М., ГТТИ, 1932.

современной квантовой теории¹, так что современная форма квантовой теории кладет предел точности всех возможных измерений, которые в любом случае не могут быть превзойдены.

§ 5. Отказ от причинности в области атомных явлений как следствие принципа индетерминированности

Принцип индетерминированности поставил ряд важных новых философских вопросов, не возникавших в классической механике. Как мы увидим, эти вопросы привели физиков к отказу от понятия причинности в атомной области и принятию, таким образом, философской точки зрения, весьма отличающейся от господствовавшей до возникновения современной квантовой теории.

Для того чтобы оценить роль, которую играл принцип индетерминированности в отказе от причинности, напомним, что в классической механике будущее движение рассматриваемой системы задается именно начальными значениями всех механических переменных и начальными скоростями их изменения, определяющих состояние данной системы. Однако, согласно принципу индетерминированности, существует фундаментальное ограничение, возникающее из самих законов природы на квантовомеханическом уровне и состоящее в том, что мы не можем получить данные, необходимые для полного задания начальных значений различных параметров, определяющих поведение такой механической системы.

Конечно, можно предположить, что индетерминированность положения и импульса электрона является следствием того, что эти переменные, наличие которых в конечном счете предполагается лишь при распространении классической физики на область атомных явлений, не описывают электрон полностью. Напротив, можно было бы предположить, что более полное описание потребовало бы качественно новых видов перемен-

¹ Так, например, Гейзенберг недавно высказал положение, что на расстояниях, меньших некоторой «элементарной длины», равной примерно 10^{-13} см, даже свойства пространства и времени должны потерять определенность.

ных (как, например, переменных, рассмотренных в § 3 в связи с возможностью существования субквантовомеханического уровня), переменных, даже не появляющихся в современной квантовой теории. Следовательно, если мы определяем лишь значения положения и импульса, которые обеспечивают достаточно хорошее приближение для определения заданного состояния только на крупномасштабном уровне, мы обнаружим, что поведение электрона не может быть предсказано потому, что определяющие факторы, важные на атомном уровне, теорией не охватываются.

Однако сторонники обычной интерпретации квантовой теории приняли гипотезу Гейзенберга, упомянутую в конце § 4. Они не предполагают, что принцип индетерминированности является как раз следствием квантовой теории на ее современной стадии развития, которая поэтому могла бы оказаться имеющей лишь ограниченную область справедливости, если позднее обнаружилось бы, что настоящая форма теории должна быть видоизменена, исправлена или расширена. Вместо этого они предполагают, что этот принцип представляет собой абсолютное и окончательное ограничение нашей способности определить состояние вещей с помощью измерений любого вида, возможных сейчас или когда-либо в будущем.

Если мы примем описанное выше предположение, то придем к заключению, имеющему очень далеко идущие следствия, так как даже если должен существовать субквантовомеханический уровень, содержащий «скрытые» переменные, описанные ранее, то эти переменные никогда не играли бы какой-либо реальной роли в предсказании любого возможного вида экспериментальных результатов. Действительно, если эта гипотеза верна, будущее поведение системы было бы по крайней мере в той мере, в какой мы ее касаемся, предсказуемым со степенью точности, не большей точности, соответствующей пределам, определяемым принципом индетерминированности. Таким образом, делается вывод о том, что настоящая общая форма квантовой теории может охватить каждый вид измерения, который мы смогли бы, видимо, осуществить. Любая теория (например, теория, включающая «скрытые» переменные), которая претендует на более глубокое объяснение,

была бы тогда просто метафизической игрой воображения, потому что ничто в физике не изменилось бы, если бы эти «скрытые» переменные не существовали¹.

Вышеприведенный вывод может быть получен более строгим путем с помощью теоремы Неймана², так как согласно этой теореме было бы не только невозможно экспериментально проверить какую-либо причинную теорию, которая ставила бы целью предсказание детального поведения отдельной системы на атомном уровне, но даже невозможно *представить себе* такое объяснение. Нейман доказал, что никакой мыслимый набор «скрытых» параметров, описывающих движение, в наблюдаемой системе не мог бы привести в точности к тем же результатам, к каким приводит описание с помощью уравнения Шредингера плюс вероятностное истолкование волновой функции. Следовательно, например, нельзя было бы представить, что даже лапласовское сверхсущество, которое получало сведения о системе, не нарушая ее посредством измерения, смогло бы точно предсказать ее будущее. Таким образом, принцип индетерминированности дополняется, так как невозможность проведения измерений, более точных, чем позволяют ограничения, накладываемые этим принципом, должна, согласно теореме Неймана, рассматриваться как результат того, что не существует ничего, соответствующего набору «скрытых» параметров, которые можно определить со степенью точности, выходящей за пределы, которые ставят эти ограничения. Таким образом, отказ от причинности в обычной интерпретации квантовой теории не следует рассматривать как простой результат нашей неспособности точно *измерять* значения переменных, ко-

¹ По этой причине термин «принцип индетерминированности» более удобен, чем обычно используемый термин «принцип неопределенности», так как, поскольку рассматриваются любые физически наблюдаемые переменные, не следует предполагать, что они как раз являются для нас «неопределенными» потому, что мы не можем измерить их совершенно точно. Скорее предполагается, что самый их способ бытия требует, чтобы они были индетерминированными. Конечно, «метафизические» скрытые переменные могут быть неопределенными, но, поскольку они в любом случае не будут наблюдаемы, их неопределенность должна для нас реально иметь такой же смысл, как вопрос о том, сколько ангелов могут танцевать на острие булавки.

² J. Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Verlag Julius Springer, Berlin, 1932).

торые вошли бы в выражение причинных законов на атомном уровне, а скорее их следовало бы рассматривать как отражение отсутствия таких законов¹.

Следовательно, мы видим, что предположение о принципе индетерминированности как об абсолютном и конечном законе, применимом ко всем процессам, которые могут происходить в мире, включает в себя нарушение причинности для явлений, существенно зависящих от законов в атомной области. И в этом отношении необходимо подчеркнуть, что такие явления не ограничены ни вещами, имеющими место в одной атомной области, ни «скрытыми» или ненаблюдаемыми свойствами вещей. Предполагается, что реальные и наблюдаемые физические явления не имеют причин, так как приборы, которые используются в настоящее время для наблюдений, достаточно чувствительны к макроскопически наблюдаемым свойствам *индивидуальных* атомов и *индивидуальных* квантов электромагнитного излучения (например, счетчики Гейгера, камеры Вильсона, сцинтилляционные счетчики и т. д.). Однако, вообще говоря, измерения свойств индивидуальных атомов или индивидуальных квантов, проводимые с помощью приборов такого типа, дают результаты, неупорядоченно флуктуирующие от одного наблюдения к другому при правильном среднем поведении в статистической совокупности, состоящей из большого числа наблюдений. Это правильное среднее поведение может быть предсказано с высокой степенью точности в рамках существующей квантовой теории, основанной на вероятностном толковании волновой функции Шредингера ψ . Но существующая квантовая теория даже в принципе не дает возможности предсказать, как *индивидуальные* измерения будут флуктуировать от одного случая к другому. Более того, она даже не содержит в себе ничего такого, что мы могли бы рассматривать как причину какой-либо конкретной отдельной флуктуации. Конечно, как мы уже указывали, мы

¹ Таким образом, название «принцип индетерминированности» в дальнейшем является оправданным, так как теперь мы пришли к выводу о том, что вопрос «о метафизических» переменных, в значениях которых мы не уверены, даже не может возникнуть.

могли бы рассмотреть возможность возникновения таких флуктуаций при неупорядоченных движениях некоторых новых видов сущностей на более глубоком уровне. Но в данном случае из принципа индетерминированности следует, что, даже если такой более глубокий уровень существует, свойства новых сущностей никогда не будут измерены с достаточной точностью для того, чтобы сделать возможным точное предсказание неупорядоченных флуктуаций результатов измерений отдельных процессов, в то время как согласно теореме Неймана даже не может существовать такой более глубокий уровень точного причинного закона. Таким образом, мы приходим к выводу о том, что с помощью экспериментов нельзя вообще проследить, какие виды причин вызывают точный характер появления этих неупорядоченных флуктуаций и имеют ли они какие-либо причины.

В этом отношении неупорядоченные флуктуации, рассматриваемые в квантовой теории, представляются как совершенно отличные от всех других типов неупорядоченных флуктуаций, встречавшихся когда-либо. Например, в главе I мы рассматривали статистическое распределение количества автомобильных катастроф, которые неупорядоченно флуктуируют в зависимости от дня и места. Однако вообще мы находим, что даже для мелких деталей таких флуктуаций можно проследить большое количество вызывающих их причин, многие из которых, по общему признанию, трудно доступны для детального исследования. Тем не менее несомненно, например, что детали катастрофы индивидуума (например, ломает ли он определенную кость и т. д.) определяются соответствующими причинами, часть которых может быть известна, а часть — неизвестна. Но в обычной интерпретации квантовой теории не предполагается, что точные величины неупорядоченных флуктуаций результатов отдельных измерений на атомном уровне вообще определяются какими-либо видами причин, известными или неизвестными. Напротив, предполагается, что в конкретном эксперименте *точный* результат, который будет получен, является *полностью произвольным* в том смысле, что он не имеет связи ни с чем, существующим в мире или когда-либо существовавшим.

Таким образом, мы имеем пример понятия о «полностью произвольных» флуктуациях, рассматривавшихся в главе II, § 16¹.

Способ доказательства принципа индетерминированности, видимо, мог бы произвести впечатление, что неупорядоченные флуктуации результатов измерения свойств индивидуальных атомов в конечном счете имеют причину, так как они объяснялись возмущением наблюдаемого объекта, вносимым измерительным прибором. Однако более тщательный анализ показывает, что таким путем нельзя последовательно устанавливать причины в рамках обычной интерпретации квантовой теории, так как следует напомнить, что прибор для наблюдения также подчиняется законам квантовой теории. Таким образом, предположение о том, что в приборе для наблюдения действует набор вполне определенных причинных факторов, которые в принципе строго определяют возмущение наблюдаемой системы при каждом отдельном процессе измерения, просто было бы, согласно принципу индетерминированности, чисто метафизическим предположением, поскольку никакие добавочные измерения, проводимые на самом приборе для наблюдения, никогда не смогли бы определить точные условия этих гипотетических причинных факторов. Более того, согласно теореме Неймана, та же самая невозможность представления о строго определенных причинных факторах имела бы место в случае прибора для наблюдения, так же как она имеет место для наблюдаемой системы. Следовательно, при обычной интерпретации квантовой теории просто не остается места для

¹ Для того чтобы подчеркнуть, какой смысл имеет это понятие на практике, рассмотрим процесс излучения альфа-частиц при радиоактивном распаде ядра, например урана. Для больших совокупностей таких ядер точное время распада индивидуального ядра неупорядоченно флуктуирует от одного ядра к другому, но *среднее* время распада является предсказуемым и равняется примерно двум миллиардам лет. Теперь рассмотрим любое из этих индивидуальных ядер, распад которых может быть обнаружен с помощью счетчика Гейгера. Когда распадется это ядро: завтра, через неделю или через два миллиарда лет, современная квантовая теория предсказать не может. Однако, согласно обычной интерпретации, этот срок ничем не детерминирован. Предполагается, что он совершенно произволен и никогда не может быть вообще связан с чем-нибудь еще с помощью какого-либо вида законов.

предположения о дополнительных причинных факторах, на основе которых даже в принципе можно было бы объяснить возникновение деталей неупорядоченных флуктуаций результатов измерений свойств индивидуальных атомов.

Вышеизложенный вывод более наглядно следует из примера, предложенного Эйнштейном, Розеном и Подольским¹, на котором можно наглядно продемонстрировать несостоятельность предположения о том, что точные детали флуктуаций, описываемые принципом индетерминированности, могли бы быть объяснены возмущениями наблюдаемого предмета, вносимыми прибором для наблюдения. Отвечая на этот пример, Бор² указал, что в обычной интерпретации квантовой теории следует рассматривать измерительный прибор и наблюдаемый предмет как *единую неделимую систему*, потому что они объединены неделимым квантом, который соединяет их во время процесса взаимодействия³. Квант должен как-то принадлежать к наблюдаемому предмету и измерительному прибору и все же он должен быть неделимым. Это возможно лишь, если объединенная система, состоящая из прибора для наблюдения и наблюдаемого предмета, является в некотором смысле единой неделимой сущностью, которая не может быть разложена (даже мысленно) на более элементарные части. Таким образом, не может иметь смысла попытка проследить зависимость наблюдаемых флуктуаций результатов отдельных измерений от причинных факторов, существующих в одной части (измерительном приборе), поскольку она никоим образом не может даже рассматриваться как отдельная часть. Следовательно, в обычной интерпретации квантовой теории приходится отказаться от представления о том, что мелкие детали наблюдаемых флуктуаций результатов отдельных измерений квантовомеханического уровня точности вызываются некоторыми пока неизвестными видами причин

¹ См. A. Einstein, N. Rosen, B. Podolsky, в «Phys. Rev.», 47, 777 (1935).

² См. N. Bohr, в «Phys. Rev.», 48, 696 (1935).

³ Более полно эта проблема рассмотрена в сборнике «Albert Einstein, Philosopher Scientist» (Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949).

и, напротив, нужно предположить, что эти детали являются полностью произвольными и незакономерными.

§ 6. Отказ от понятия непрерывности в области атомных явлений

Кроме вывода о неприменимости причинности к деталям отдельных флуктуационных процессов в атомной области, обычная интерпретация квантовой теории привела к отказу от понятия непрерывности движения внутри той же области.

Для того чтобы показать это, мы начнем с рассмотрения некоторых экспериментальных методов наблюдений приближенных значений положений и скоростей индивидуального электрона. Так, если свободный электрон высокой энергии проходит через фотографическую пластинку, он регистрирует свой путь в виде зерен серебра, которые под микроскопом выглядят более или менее так, как это показано на рис. 5. Эти зерна серебра образуются в результате взаимодействия электрона с атомами, вблизи которых он проходит, но это взаимодействие должно иметь квантовую форму; следовательно, будем применять принцип индетерминированности. Тогда вид зерен серебра позволит нам заключить, что прохождение электрона вблизи атома достаточно для осуществления взаимодействия. Таким образом, зерна серебра приблизительно локализуют путь электрона. Но, согласно принципу индетерминированности, мы знаем, что неопределенный импульс был сообщен электрону при каждом взаимодействии, так что мы не можем точно предсказать, куда пойдет электрон после того, как он покинет фотографическую пластинку. Однако эта неопределенность мала, так что она приобретает значение лишь при очень точном измерении. Но, если нам нужно очень точно предсказать путь электрона, мы не сможем сделать этого таким или каким-либо другим путем.

Согласно нашему обычному ходу рассуждений, мы предположили бы, что трек, состоящий из зерен серебра, показывает, что реальный электрон непрерывно движется в пространстве где-то около этих зерен и, взаимодействуя с атомами, привел к образованию зерен.

Но, согласно обычной интерпретации квантовой теории, было бы неправильно предположить, что это в действительности происходит. Мы можем лишь сказать, что появляются определенные зерна, но мы не должны пытаться представить, что эти зерна были порождены реальным предметом, движущимся в пространстве так, как мы обычно представляем движение предметов в пространстве, ибо, несмотря на то, что это представление о непрерывно движущемся предмете достаточно хорошо для приближенной теории, мы обнаружили бы, что

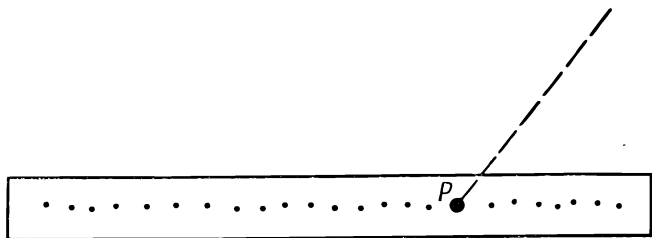


Рис. 5.

в очень точной теории оно должно оказаться несостоятельным. Более того, если мы попытаемся посредством эксперимента убедиться, действительно ли электрон движется между точками трека, например с помощью очень точных микроскопических наблюдений положения во время прохождения его через некоторую точку, скажем P , мы обнаружили бы, что вследствие передачи кванта трек должен измениться в непредсказуемом и неконтролируемом направлении и превратиться в другой трек (как показано на рис. 5). Таким образом, согласно этой точке зрения, понятие движущегося электрона, который создает непрерывное соединение точек, в которых трек может наблюдаться, является в лучшем случае чисто метафизическим понятием, которое никогда не могло бы быть подвергнуто экспериментальной проверке.

С этой точки зрения можно было бы предположить, что, может быть, понятие об электроне как об очень малом движущемся теле является слишком простым для этой проблемы и что наши трудности возникают из попытки втиснуть наше представление об электроне в рамки, которые навязывает нам в конечном счете

опыт в классической области. Поэтому в квантовой физике, может быть, необходимо ввести представления более сложные и тонкие, чем представление о частице, движущейся в пространстве по линии и оставляющей за собой трек. Например, с точки зрения понятия субквантовомеханического уровня, о котором мы упомянули в § 3, возможно, что электрон имеет очень сложное строение в более глубоком подслое или поле, который обладает свойством волнового поведения и все же порождает корпускулярные концентрации энергии¹. Сложная сущность могла бы оставить за собой приблизительно локализованный трек, состоящий из водяных капелек, который был бы порожден, например, описанными выше концентрациями энергии.

Однако мы должны подчеркнуть здесь, что точка зрения Бора и других сторонников обычных интерпретаций квантовой теории предполагает, что любое объяснение появления ряда капелек на основе представления о некотором более глубоком подслое непрерывного движения, которое приводит к концентрации энергии на водяных капельках, является столь же метафизическим, как и объяснение с помощью представления о движущейся частице. Другими словами, при последовательной формулировке этой точки зрения предполагается, что пределы делимости передаваемой энергии, которые характерны для современной квантовой теории, должны быть применимы безоговорочно и совершенно строго в каждой области, которая когда-либо будет исследована. Таким образом, неделимость передаваемых квантов и вместе с ней необходимость отказа от понятия непрерывности рассматривается как абсолютное и первичное свойство, которое будет продолжать оставаться независимым от прогресса физики в будущем.

§ 7. Отказ от всех определенных мыслимых моделей в микроскопической области. Принцип дополнительности

Из предыдущих параграфов мы видим, что обычная интерпретация квантовой теории заставляет нас отка-

¹ Модель этого типа будет рассмотрена в гл. IV, § 2 и 6.

заться от понятия причинности и непрерывности движения на всех возможных уровнях, по крайней мере при очень строгом рассмотрении. Отказ подразумевает наличие, как сказал Бор, «иррационального поведения» в процессе передачи кванта от одной системы к другой¹. Под этим понимают, что никогда не будет достигнуто рациональное представление о деталях процесса. Это объясняется тем, что если мы отказываемся от представлений о непрерывности и причинности, то нельзя более описывать определенные связи между явлениями в заданный момент и в предшествующие моменты или даже думать об их существовании. В результате мы не можем точно выразить качества и свойства, которые смогли бы определить способы существования отдельных микрообъектов или сформулировать точные законы, которые могли бы быть применены к таким микрообъектам. Аналогичная точка зрения фактически уже неявно скрыта в выводе Бора, приведенном в § 5, о том, что при наблюдении, проведенном на квантовомеханическом уровне точности, нужно рассматривать целиком ансамбль, состоящий из прибора для наблюдения и наблюдаемой системы, нераздельно объединенных соединяющим их квантом. Таким образом, вследствие того, что процесс, при котором квант передается из одной системы в другую, не может быть подвержен детальному рациональному анализу, мы не можем точно описать свойства и качества, характеризующие наблюдаемую систему как отличающуюся от системы прибора для наблюдения.

Для того чтобы проиллюстрировать смысл описанной выше точки зрения, рассмотрим в качестве примера процесс наблюдения атома с помощью соответствующего прибора. Как мы видели, кванты, посредством которых прибор для наблюдения взаимодействует с атомом, изменяет последний так, что мы лишаемся возможности предсказать, проконтролировать, описать или даже представить себе это изменение. Следовательно, каждый конкретный прибор в известном смысле создает конкретный вид атома. Однако даже эта терминология является слишком наглядной потому, что она подразуме-

¹ N. Bohr, Atomic Theory and the Description of Nature, Cambridge, 1934.

мевают, что атом имеет определенные свойства, когда он не наблюдается, которые изменяются при взаимодействии с измерительным прибором. Но в обычной интерпретации квантовой теории атом, когда он не наблюдается, *вовсе не имеет свойств*. Действительно, можно сказать, что его единственный способ бытия заключается в том, что он наблюдаем, так как понятие атома, существующего с его собственными, однозначно определяемыми свойствами, даже когда он не взаимодействует с частью прибора для наблюдения, в рамках этой точки зрения лишено смысла.

Если понятие объективного существования атомов и других микрообъектов со своими собственными однозначно определяемыми свойствами должно быть оставлено, то, естественно, возникает вопрос: «С чем фактически имеет дело квантовая механика?» Ответ, данный Бором (и в рамках обычной интерпретации единственно возможный последовательный ответ), состоит в том, что она имеет дело не со свойствами микрообъектов как таковых, а скорее *лишь с отношениями между наблюдаемыми крупномасштабными явлениями*. Однако явления рассматриваются как неделимые целые, которые было бы неправильно анализировать, даже абстрактно и мысленно, как если бы они состояли из различных частей, составленных из различного рода микрообъектов¹. Тогда роль теории сводится просто к вычислению распределений вероятности для различных возможных типов явлений.

Ясно, что описанная выше точка зрения приводит нас к отказу от представления об объединенном и строго определяемом целом, из которого мы успешно исходили на практике и все стороны которого при конкретном способе представления о нем одновременно и определенно доступны нашему пониманию. Таковую систему представлений, которая иногда называется «моделью», нельзя сводить к наглядной картине; она может включать, кроме того, математические понятия, поскольку они предполагаются достаточными для точ-

¹ Это представление примерно аналогично представлению гештальт-психологии, которое, грубо говоря, предполагает, что наши восприятия и представления обладают свойствами, аналогичными свойствам, которые Бор приписывает веществу вообще, то есть они являются «целыми», не разлагаемыми на части даже абстрактно.

ного представления описываемых предметов. Однако обычная интерпретация требует, чтобы мы отказались даже от математических моделей. Так, волновая функция Шредингера ψ в любом отношении не предполагает мыслимой модели индивидуальной системы, потому что она не дает точного описания поведения системы, а позволяет самое большее — описывать поведение статистической совокупности систем в среднем.

Наиболее последовательно и систематически данную точку зрения выразил Бор в виде принципа дополнителности; за обстоятельным изложением этого принципа мы отсылаем читателя к другим источникам¹. Здесь мы дадим лишь краткое изложение его.

В отличие от строго определенной мыслимой модели принцип дополнителности гласит, что мы ограничены дополняющими друг друга парами принципиально неточно определяемых понятий, например положения и импульса, волны и частицы и т. д. Максимальная степень точности определения какого-либо члена такой пары связана взаимно со степенью точности определения сопряженного члена. Тогда конкретные экспериментальные условия определяют, сколь точно каждый член, дополняющий пары понятий, должен быть в данном случае определен. Но предполагается, что никогда не может существовать единичное общее понятие, которое точно представляло бы *все* существенные стороны поведения индивидуальной системы.

Тогда Бор сделал важный шаг, показав, что законы квантовой теории последовательно позволяют отказаться от понятия об однозначных и строго определенных мыслимых моделях в пользу понятия о дополняющих парах неточно определенных моделей. Таким образом, он смог доказать, что использование дополняющих пар неточно определяемых понятий открывает дорогу для рассмотрения поведения материи в квантовомеханической области. Но в таком случае общая точка зрения Бора относительно принципа дополнителности идет дальше этого, так как его предположение о том, что основные свойства материи *никогда* не могут быть

¹ Этот принцип очень подробно рассмотрен в сборнике «Albert Einstein, Philosopher Scientist» (Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949).

рационально поняты на основе однозначных и четко определенных моделей, означает, что использование дополняющих пар неточно определенных понятий будет необходимо для детального рассмотрения каждой области, которая когда-либо будет исследована. Таким образом, ограниченность наших понятий, неявно скрытая в принципе дополнительности, рассматривается как абсолютная и окончательная.

§ 8. Критика выводов обычной интерпретации квантовой теории, следующих из принципа индетерминированности

Изложенные в предыдущих параграфах выводы были приняты большинством физиков-теоретиков, которые считали, что, несмотря на видимую трудность их принятия, они явились в значительной мере необходимым следствием экспериментальных фактов, приведших к созданию квантовой теории. Однако небольшое количество физиков, например Эйнштейн и Планк, продолжали полагать, что следует искать более полную теорию, которая объяснила бы отдельные квантовые процессы более или менее так, как указано в § 3. Тогда можно задать вопрос, как могла существовать такая точка зрения вопреки принципу индетерминированности, который, видимо, указывал, что в лучшем случае она была бы лишь пустой метафизической спекуляцией, которая никогда не могла бы быть проверена экспериментально, если не просто невозможной, как полагал Нейман. Ответ состоит в том, что в цепи рассуждений, из которых вытекают эти выводы, имеются весьма слабые места.

Начнем с рассмотрения принципа индетерминированности. Мы напомним, что для доказательства этого принципа было важно использовать три свойства, а именно: квантовые энергии и импульсы при всех взаимодействиях, существование волновых и корпускулярных сторон этих квантов и непредсказуемый и неконтролируемый характер некоторых черт индивидуального квантового процесса. Несомненно верно, что эти свойства вытекают из современной общей формы квантовой теории. Но вопрос, который мы подняли в § 3,

состоял как раз в следующем: существует или нет более глубокий субквантовомеханический уровень непрерывного и причинно детерминированного движения, который мог бы привести к законам квантовой механики как приближению, справедливому на атомном уровне? Так как если существует такой субквантовомеханический уровень, то, как мы видели, упомянутые выше основные предположения, необходимые для справедливости принципа индетерминированности, не были бы справедливы на этом более глубоком уровне¹.

Следовательно, принцип индетерминированности просто ничего не говорит о точности, которая может быть получена при измерениях, использующих физические процессы, происходящие на таком субквантовомеханическом уровне.

Поэтому могло бы показаться, что выводы о необходимости отказа от понятий причинности, непрерывности движения и объективной реальности отдельных микрообъектов были слишком преждевременными, ибо вполне возможно, что, в то время как квантовая теория и вместе с ней принцип индетерминированности справедливы в определенной области с очень высокой степенью точности, они оба перестают быть справедливыми в новых областях, находящихся ниже тех областей, к которым применима современная теория. Таким образом, вывод об отсутствии более глубокого уровня причинно детерминированного движения является результатом порочного круга в рассуждении, поскольку оно будет следовать лишь в том случае, если мы заранее предположим, что такой уровень не существует.

Аналогичный анализ можно провести по отношению к теореме Неймана. Поскольку теорема основана на неявном предположении о несущественности того, сколь далеко мы можем пойти в наших исследованиях природы, мы всегда обнаружим, что состояние системы может быть определено, по крайней мере частично, с помощью «наблюдаемых величин», которые удовлетворяют определенным соотношениям современной кван-

¹ Например, квант мог бы быть делимым, в принципе предсказуемым и контролируемым при учете новых видов причинных факторов, существующих на этом уровне.

товой теории¹. Нейман тогда поставил вопрос: «Существуют ли, кроме этих «наблюдаемых величин», какие-либо другие в настоящее время «скрытые» переменные, которые могли бы способствовать более точному определению состояния системы, чем можно сделать в настоящее время на основе современной формулировки квантовой теории?» Однако его доказательство невозможности этого существенно зависит от предположения о том, что по крайней мере частично состояние системы всегда будет определяться этими наблюдаемыми величинами, в то время как скрытые переменные будут самое большее служить уточнению определения состояния, уже заданного с помощью переменных. Очевидно, что такое предположение строго ограничивает возможную форму теорий, которые могут быть построены, так как оно не учитывает возможность того, что, когда мы переходим на субквантовомеханический уровень, вся схема наблюдаемых величин, удовлетворяющих некоторым правилам, присущим квантовомеханическому уровню, разрушится и должна быть заменена на что-то, весьма от нее отличное. Другими словами, вполне возможно, что полная система наблюдаемых величин применима с большой степенью приближения в обычной квантовомеханической области, но она становится совершенно неприменимой при рассмотрении уровней, лежащих глубже данного уровня. В этом случае доказательство теоремы Неймана не было бы состоятельным, поскольку условия, рассмотренные здесь, выходят за рамки неявных предположений, необходимых для проведения доказательства².

Следовательно, мы видим, что и в случае принципа индетерминированности, и в случае теоремы Неймана были сделаны выводы относительно необходимости отказа от причинности, непрерывности и объективной реальности индивидуальных микрообъектов, которые не следуют ни из экспериментальных фактов, на которых

¹ Например, их собственные значения получаются из линейных эрмитовских операторов, распределения их вероятности — из квадрата абсолютного значения коэффициента соответствующего разложения волновой функции в ряд и т. д.

² Теорема Неймана создает дополнительные предложения, которые не обязательно являются верными. См. D. Bohm в «Phys. Rev.», 85, 166, 180 (1952).

покоится квантовая механика, ни из математических уравнений, с помощью которых теория формулируется. Скорее они следуют из предположения (обычно скорее неявного, чем явного) о том, что определенные черты, связанные с современной формулировкой теории, являются абсолютными и окончательными в том смысле, что они никогда не будут противоречить будущим теориям и что никогда не будет обнаружен их приблизительный характер, справедливый лишь в некоторой ограниченной области. Такое предположение столь строго ограничивает возможные формы будущих теорий, что фактически оно не позволяет нам рассматривать субквантовомеханический уровень, на котором могли бы иметь место новые виды движения и были бы применимы новые виды причинных законов.

Теперь мы можем задать вопрос, почему сторонники обычной интерпретации делали предположения столь далеко идущего характера, не обоснованные ни экспериментально, ни теоретически. Исчерпывающий разбор этого вопроса как таковой потребовал бы написания целой книги, но здесь мы удовлетворимся приведением двух наиболее важных соображений.

Прежде всего, видимо, существовало, особенно среди физиков, например у Гейзенберга и других, которые первыми разработали квантовую теорию, довольно широко распространенное мнение о том, что человеческий мозг, вообще говоря, способен воспринимать лишь два вида вещей, а именно поля¹ и частицы². Обычно выдвигаемое основание в пользу этого вывода состоит в том, что мы можем воспринимать лишь то, с чем мы встречаемся в повседневной практике или самое большее в экспериментальных исследованиях вещей, которые находятся в области классической физики, где, как хорошо известно, все явления попадают либо в один, либо в другой из этих двух классов. Таким образом, когда мы переходим в микроскопическую область, где,

¹ Напомним, что в физике поля обычно проявляются как волны.

² Изложение одной из самых ранних формулировок этой точки зрения см., например, в книге В. Гейзенберг, *Физические принципы квантовой теории*, Л.—М., ГТТИ, 1932. Очень ясное и обстоятельное изложение аналогичной точки зрения дано также в книге С. F. Weizsäcker, *The World View of Physics*, London, 1952, p. 104.

как мы видели, ни понятие поля, ни понятие частицы не является точным, предполагается, что мы вышли за пределы области, в которой мы можем их воспринимать. Однако найдено, что даже в этой области мы можем предсказать определенные статистические результаты с помощью соответствующих математических вычислений. Таким образом, делается вывод о том, что мышление понятиями будет возможно лишь в области, которой занимается классическая физика, в то время как вне этой области нам остается лишь иметь дело с чисто техническими манипуляциями над математическими символами согласно соответствующим предписаниям, установление которых является делом физиков-теоретиков. В результате любая попытка представления о субквантовомеханическом уровне посредством понятий обречена на неудачу, поскольку, даже если такой уровень и существовал бы в действительности, мы не смогли бы на этом уровне непосредственно ознакомиться с сущностями и никогда не могли бы поэтому надеяться представить себе, на что могут эти сущности походить.

Второй причиной отсутствия общей заинтересованности в рассмотрении возможности субквантовомеханического уровня явилось повсеместное принятие тезиса о том, что мы не должны постулировать наличие сущностей, которые не могут наблюдаться уже достигнутыми методами. Этот тезис вытекает из общей философской точки зрения, включающей в себя различные направления, например «позитивизм», «операционализм», «эмпиризм» и другие, которые в XX в. начали завоевывать себе широкую популярность среди физиков¹. Поскольку мы все же не знаем, как обнаруживать новые сущности, которые могут существовать на субквантовомеханическом уровне, описанная выше точка зрения заставляет нас воздержаться даже от постановки вопроса о существовании такого уровня. Конечно, если бы будущие эксперименты в конечном счете обнаружили такие сущности, то мы, естественно, начали бы

¹ Ведущим представителем позитивистской точки зрения конца XIX века был Мах. Современные философы-позитивисты, видимо, несколько отошли от крайней позиции Маха, но эта позиция еще проявляется в философской точке зрения, неявно принятой большим числом современных физиков-теоретиков.

создавать относящиеся к ним теории, но, пока этого не случилось, описанная выше точка зрения заставляет нас рассматривать лишь виды величин, фигурирующие в существующих теориях.

Ответ на эти два возражения против субквантово-механического уровня вполне очевиден.

Прежде всего, разумеется, что представление о том, что наши понятия вытекают только из повседневного опыта, приводит нас к крайне односторонней точке зрения на этот вопрос, так как хорошо известно, что развитие наших понятий обусловлено также и *научным опытом*. Например, в значительной степени наше понятие о движении тел вытекает из мысленного анализа экспериментальных и теоретических результатов механики как науки. В этом отношении математика вообще и дифференциальное исчисление в частности сыграли решающую роль в выработке ясного понятия ускоренного движения. Практически невозможно выработать такое ясное понятие лишь на основе повседневного опыта или даже на основе одного лабораторного эксперимента, не дополненного более глубоким мысленным анализом. Так, одна из наиболее сложных проблем, с которой столкнулся Галилей при выяснении законов падающих тел, состояла как раз в выяснении понятия ускорения, и, уяснив это понятие, он успешно нашел и их алгебраическое выражение для скорости движения. Аналогично наше понятие волны в большой степени происходит из теоретического и экспериментального изучения в различных отраслях физики интерференции и распространения волн, например в оптике и акустике, и в очень небольшой степени вытекает из фактического наблюдения волн на воде в повседневной практике. В этом отношении принцип Гюйгенса, а также различные математические формулировки интерференции и распространения волн составляют в основном современное понятие волнового движения.

Тогда мы видим, что, хотя элементарные понятия, выработанные в повседневной практике, вполне могут служить исходными точками для исследования в физике (и в других науках), открытые при этом исследовании новые законы как законы, которые облечены в математическую форму, так и те, которые выражены скорее качественно, помогают нам постепенно обогащать

и уточнять эти понятия до тех пор, пока они не превратятся в ходе развития в нечто, совершенно отличное от того, чем они были в начале исследования. Теперь, когда мы столкнулись с проблемой познания новых видов законов, к которым нас привели наши исследования в квантовой области, исходными точками нормального продолжения этой процедуры должны были быть классические понятия поля и частицы, видоизмененные и обогащенные таким образом, чтобы они могли удовлетворить новой комбинации волновых и корпускулярных свойств, которые содержатся в квантовой теории. Действительно, в этом направлении уже был сделан ряд конкретных попыток, и мы опишем их в главе IV. Конечно, мы не ожидаем, что процесс развития понятий на этом остановится, а скорее, как это бывало в классической физике, мы можем надеяться, что ряд таких видоизменений и обогащений, каждое из которых помогает нам лучше понять происходящее в квантовомеханической области, в конце концов укажет путь к революционным изменениям всей структуры понятий. Естественно, вполне возможно, что мы можем столкнуться с очень большими трудностями при таких попытках радикального изменения новых понятий и приспособления их к квантовомеханической области. Тем не менее возможность таких трудностей едва ли можно рассматривать как основательную причину для того, чтобы отказываться от их преодоления, прежде чем в этом направлении вообще не сделано ни одной попытки и мы еще не убедились в том, что наш мозг просто не приспособлен представить то, что мы не встречали в повседневной практике или в опытах, проводившихся в классической области.

Рассмотрим теперь второй аргумент, выдвигаемый обычно против рассмотрения возможности существования субквантовомеханического уровня, а именно позитивистский принцип, заключающийся в том, что мы не должны постулировать наличие сущностей, которые мы не можем наблюдать. Этот принцип, очевидно, представляет собой нефизическое ограничение, накладываемое на возможные виды теорий, которые мы выбираем для рассмотрения. Слово «нефизический» мы употребляем здесь намеренно, поскольку мы никак не можем вывести ни из экспериментальных физических

данных, ни из их математической формулировки невозможности обнаружения сущностей, наблюдать которые мы в настоящее время не можем.

Для утверждения о том, что общий внефизический принцип не мог быть полезной гипотезой вообще, оснований нет. Однако про этот конкретный внефизический принцип нельзя сказать, что он является хорошей рабочей гипотезой, так как история научного исследования полна примеров того, что в действительности было очень плодотворно предположение о том, что определенные предметы или объекты могут быть реальны, и высказывавшееся задолго до того, как были известны какие-либо процедуры, которые позволили бы наблюдать их непосредственно. Атомная теория как раз является таким примером, так как возможность действительного существования индивидуальных атомов была впервые постулирована для того, чтобы объяснить различные крупномасштабные повторяемости, например законы химических процессов, газовые законы и т. д. С другой стороны, конечно, можно было рассматривать эти крупномасштабные повторяемости непосредственно с помощью лишь макроскопических понятий, без необходимости введения атомов. Поэтому некоторые позитивисты XIX в. (особенно Мах) по чисто философским основаниям настаивали на том, что понятие атомов является бессмысленным и даже «противоречащим здравому смыслу», потому что тогда атомы нельзя было наблюдать как таковые. Тем не менее аргументы в пользу существования индивидуальных атомов были в конце концов выдвинуты теми, кто считал атомную гипотезу достаточно серьезной, чтобы предположить возможность существования индивидуальных атомов, даже если никто в действительности их не наблюдал. Очевидно, мы имеем в данном случае тесную аналогию с обычной интерпретацией квантовой теории, которая избегает рассмотрения возможности существования субквантовомеханического уровня, потому что он не может наблюдаться доступными в настоящее время средствами.

История развития науки, взятая в весьма общем виде, показывает, что имеются два пути, по которым может идти научный прогресс: первый — путь открытия новых фактов, которые в конечном счете приводят

к новым видам понятий и теорий, а второй — путь объяснения широкого круга существующих фактов на основе новых понятий и теорий, что в конечном счете приводит к новым видам экспериментов и, следовательно, к открытию новых фактов. В свете этого исторического опыта можно видеть, что позитивизм приводит к односторонней точке зрения на возможные средства проведения научного исследования, так как, признавая важность эмпирических данных, позитивизм отступает перед лицом исторически установленного факта, заключающегося в том, что для выдвижения новых понятий и теорий, имеющих определенные умозрительные стороны (например, атомная теория), очень часто оказывается важным получение новых эмпирических данных в длительном процессе исследования.

В качестве альтернативы позитивистской установки признания в качестве реальности лишь того, что можем наблюдать, в настоящей книге мы принимаем точку зрения, изложенную в главе I и развитую далее в главе V и, по нашему убеждению, более точно соответствующую выводам, которые могут быть почерпнуты из общего опыта действительного научного исследования. С этой точки зрения мы предполагаем, что мир как целое объективно реален и что, насколько нам известно, он имеет точно описуемую и разложимую на части структуру бесконечной сложности. Эта структура должна быть понята с помощью ряда все более элементарных, все более широких и все более точных понятий, которые будут способствовать, так сказать, все более лучшему и лучшему пониманию бесконечной структуры объективной реальности. Однако мы никогда не должны надеяться получить полную теорию этой структуры, потому что она содержит почти наверняка больше элементов, чем мы можем представить себе на любой конкретной стадии научного развития. Однако любой конкретный элемент может быть в принципе открыт, а все элементы — никогда.

Приведенная выше точка зрения, разумеется, подразумевает, что никакая теория или сторона какой-либо теории никогда не должна рассматриваться как абсолютная и законченная. Так, рассматривая современную формулировку квантовой теории, мы должны подвергнуть критике предположение, например Гейзенберга

и Бора, о том, что принцип индетерминированности и ограничение дополняющими парами понятий останутся непоколебленными независимо от того, сколь далеко продвинется наука в новых областях. Однако должно быть ясно, что, критикуя такой взгляд на квантовую механику, мы не считаем, что квантовая теория несостоятельна или бесполезна в своей области. Напротив, квантовая теория, конечно, является блестящим достижением высочайшей степени важности, она является теорией, оспаривать ценность которой было бы абсурдом. И точно так же вероятностная интерпретация Борном волновой функции Шредингера, принципа индетерминированности Гейзенберга и доказательство Бором того, что в квантовой области материя обнаруживает в различных условиях противоположные способы поведения очень общего вида (например, волна и частица) — все это должно быть признано как вносящее исключительно важный вклад в установление законов квантовомеханической области. Однако здесь мы желаем подчеркнуть, что блестящие достижения квантовой механики никоим образом не зависят от представления о том, что рассмотренные выше стороны (или какие-либо другие стороны) современной теории представляют собой абсолютные и первичные ограничения законов природы, так как эти достижения могли быть столь же успешно получены на основе более скромного предположения о том, что эти стороны верны в некоторой ограниченной области и с некоторой степенью точности, а точные границы их справедливости еще предстоит открыть. Таким образом, мы избегаем введения произвольных *априорных* предположений, которые не могли бы быть, очевидно, подвергнуты экспериментальной проверке, и мы оставляем полную возможность для рассмотрения принципиально новых видов законов, которые могли бы быть применимы в новых областях, законов, которые не могут быть рассмотрены, если мы предположим, что определенные стороны теорий, относящихся к квантовомеханической области, абсолютно и окончательно справедливы.

Если отказаться от предположения об абсолютной и окончательной справедливости принципа индетерминированности, то из новых видов законов, которые теперь представляется возможным рассмотреть, очень интерес-

ной и перспективной возможностью являются законы субквантовомеханического уровня, содержащего скрытые переменные. Как мы видим в § 3, такая область законов, видимо, содержит возможность объяснения, по крайней мере качественно, основных черт современной квантовой теории как приближения, имеющего силу в соответствующей области. Более того, в этом параграфе мы видели, что против такого рассмотрения не было выдвинуто разумных доводов; и в главе IV мы рассмотрим ряд конкретных примеров этого рода теории.

§ 9. Обычная интерпретация квантовой теории как форма индетерминистического механицизма

Предположение об абсолютной и окончательной справедливости принципа индетерминированности, который предполагает, что детали квантовых флуктуаций вовсе не имеют причин, разумеется, очень сильно напоминает основы философии индетерминистического механицизма, который был рассмотрен нами в главе II, § 14. Однако иногда это сходство является очень тонким, так что без тщательного анализа проблемы его можно и не заметить.

В ранних формах индетерминистического механицизма предполагалось, либо явно, либо неявно, что вся вселенная может быть описана полностью и идеально с помощью лишь некоторых математически определенных параметров. Предполагалось, что эти параметры испытывают произвольные и незакономерные флуктуации, распределения вероятности которых, однако, удовлетворяют ряду чисто количественных законов, которые фактически являются единственными видами законов, о которых предполагалось, что они верны для всего во всем мире. В квантовой теории наиболее подходящими, которые могли бы соответствовать таким основным математическим параметрам, должны быть значения волновой функции Шредингера в каждой точке пространства и времени, которые, как мы видели в § 2, определяются через свои начальные значения для любых моментов времени с помощью уравнения Шредингера. Но, как мы указали в § 7, волновая функция Шре-

дингера не рассматривается как точно соответствующая любому свойству материи, существование которого предполагается. Скорее она рассматривается в принципе лишь как промежуточный и чисто математический символ, которым можно манипулировать по определенным предписанным правилам так, что это позволяет правильно вычислять вероятности экспериментальных результатов различного рода.

Но теперь возникает вопрос: «Каковыми являются свойства, вероятности которых могут быть таким образом вычислены с помощью ψ -функции?» Как мы видели в § 5 и 7, Бор показал, что в обычной интерпретации квантовой теории такие свойства *не* должны рассматриваться как объективно существующие в наблюдаемой системе. Однако существуют некоторые вещи, которые, согласно его точке зрения, могут быть фактически объективными, а именно наблюдаемые крупномасштабные явления.

Сделаем краткий обзор того, как такие явления рассматриваются в обычной интерпретации квантовой теории. С помощью законов классической механики можно вычислить соотношения, приблизительно связывающие эти явления, но, как мы видели в § 5, при большей точности эксперимента обнаруживаются неупорядоченные флуктуации тонких деталей этих явлений, не объясняемые классической теорией. Тогда предполагается, что эти флуктуации являются полностью произвольными и незакономерными, не имеющими вовсе причин. Таким образом, предполагается, что теоретическое предсказание и объяснение этих деталей всегда будут лежать вне цели исследований физики или любой другой науки. Тогда, по определению, предмет физики внутренне и неизбежно ограничен лишь вычислением распределений вероятности различных возможных видов явлений, распределений, которые выводятся из некоей общей физической и математической схемы, основанной на уравнении Шредингера¹. Другими словами, предполагается,

¹ В этой схеме используется волновая функция, определенная в конфигурационном пространстве, удовлетворяющая чисто линейной системе уравнений и связанная с явлениями через вычисление вероятностей различных «наблюдаемых величин» с помощью средних значений связанных с ними операторов. Эта схема приводит к принципу индетерминированности как к внутренне присущему

что во вселенной нет ничего такого, что в конечном счете не согласовывалось бы с этой схемой, основные черты которой рассматриваются, таким образом, как абсолютные и окончательные.

Тогда ясно, что мы пришли к точке зрения, являющейся именно точкой зрения индетерминистического механицизма. Однако индетерминистический механицизм применяется не к реальным микрообъектам типа, рассмотренного в его более ранних схемах, и даже не к набору чисто математических параметров, например, входящих в уравнение Шредингера. *Он применим скорее лишь к наблюдаемым крупномасштабным явлениям.* Таким образом, после отрицания объективной реальности микроскопической области и даже после отказа от причинности и непрерывности стало возможным сохранить наиболее существенные и характерные черты механистической позиции, а именно предположение о том, что каждое объективное и определяемое свойство в мире может быть описано лишь с помощью ряда чисто количественных законов вероятности, укладываемых в некоторую общую физическую и математическую схему, которая является абсолютной и окончательной.

Очевидно, что приведенное выше предположение очень сходно с предположением физиков XIX в., которые рассматривали общую физическую и математическую схему классической физики как абсолютно и окончательно справедливую. Конечно, так же, как классические физики видели, что трудности, возникающие, например, из несостоятельности закона Рэля — Джинса, являвшихся, по их мнению, только «облачками», которые скоро должны рассеяться после некоторого изменения *деталей* существовавших тогда теорий детерминистического типа, современные физики полагают, что нынешний кризис в физике¹ будет разрешен с помощью пересмотра деталей современных вероятностных теорий общего вида. Поэтому и для классических и для современных физиков является общей тен-

и неизбежному ограничению точности, с которой основные свойства материи могут быть определены, описаны и поняты. Конечно, можно определить эту математическую схему как точно необходимую, если нужно сохранить гипотезу об абсолютной и окончательной справедливости принципа индетерминированности.

¹ Этому вопросу посвящена гл. IV.

денция к предположению об абсолютном и окончательном характере основных черт наиболее фундаментальной теории, которая существовала в то или иное время. Таким образом, обычная интерпретация квантовой теории представляет в некотором смысле довольно естественное продолжение механистической позиции классической физики, соответствующим образом приспособленной для учета того, что наиболее фундаментальная, доступная в настоящее время теория является вероятностной по форме, а не детерминистичной.

Г л а в а IV

ИНЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

§ 1. Введение

В предыдущей главе мы видели, что обычная интерпретация квантовой теории приводит нас к отказу от понятий причинности, непрерывности и объективной реальности индивидуальных микрообъектов в квантово-механической области. Она приводит к точке зрения, согласно которой физика в этой и более глубоких областях якобы внутренне и необходимо ограничивается манипуляциями над математическими символами, производимыми по соответствующей методике, позволяющей, вообще говоря, лишь вычислять *вероятное* поведение явлений, которые могут наблюдаться в макроскопической области. Эти далеко идущие изменения в структуре физических понятий были основаны на предположении о том, что некоторые черты современной формулировки квантовой теории, а именно принцип индетерминированности и введение характеристического набора противоположных «дополняющих» пар способов поведения (например, волнового и корпускулярного) являются абсолютными и окончательными сторонами законов природы, которые будут применяться непротиворечиво и строго в каждой области, которая когда-либо будет предметом физического исследования.

В § 8 предыдущей главы мы показали, что такое предположение не является необходимым и что, конечно, такое предположение представляет собой догматическое ограничение возможных форм будущих теорий. Однако в настоящей главе мы разоведем это положение и набросаем общие контуры некоторых конкретных теорий, которые позволяют нам по-новому истолковывать квантовую механику. Эти теории позволяют рассматривать

квантовомеханические эффекты как возникающие в объективно реальном подслое непрерывного движения, существующем на более низком уровне и удовлетворяющем новым законам, по отношению к которым законы квантовой теории выступают как приближения, верные лишь на квантовомеханическом уровне (так мы будем называть его в дальнейшем).

Новые теории преследуют две главные цели. Прежде всего, они помогают сделать более конкретной критику обычной интерпретации квантовой механики, изложенную в главе III, ибо с помощью конкретных примеров теорий, которые могут быть построены на основе иных точек зрения, они позволяют показать ложность создававшегося до сих пор впечатления о том, что мы вынуждены признать обычную интерпретацию потому, что другие предполагаются неосуществимыми. Во-вторых, и, может быть, это даже более важно, так как данные теории могут служить полезными исходными пунктами в исследованиях, направленных на изучение новых, все еще плохо понятых областей явлений.

В связи с упомянутым выше вторым пунктом напомним, что в настоящее время в физике имеет место кризис, вытекающий из недостаточности современных теорий для рассмотрения явлений, связанных с очень высокими энергиями и очень малыми расстояниями (примерно 10^{-13} см или меньше). Конечно, приверженцы обычной интерпретации квантовой теории в целом прекрасно понимают наличие этого кризиса. Тем не менее, как мы указывали в главе III, § 4, их общий вывод заключается в том, что успех вероятностных теорий типа современной квантовой механики указывает, что в более глубокой области, весьма возможно, мы будем вынуждены рассматривать теории, которые будут, во всяком случае, даже более вероятностными, чем теории современной квантовой области. Более тщательное рассмотрение проблемы показывает, что этот вывод мало основателен. Так, например, физики XIX в. могли бы с равным правом заявить, что непрерывный успех детерминистических законов классической механики в течение трех столетий ее применения является очень основательным указанием на то, что прогресс в новых областях вернее всего привел бы к законам, которые были бы даже более детерминистическими, чем уже суще-

ствующие. (Действительно, многие физики того времени надеялись, что законы классической статистической механики должны в конечном счете выводиться полностью и идеально из детерминистической основы.) Таким образом, очевидно, что исторический опыт учит нас не прибегать к простым экстраполяциям предыдущих направлений в развитии теории, когда мы подходим к вопросу, в какой степени законы новых областей будут иметь статистический или строго детерминистический характер. Наоборот, он учит, что на этот вопрос нельзя отвечать априори, а нужно быть готовым к поискам различных видов законов и рассматривать их с точки зрения наибольшего прогресса, который они могут обеспечить для понимания новых областей.

Мы хотим, чтобы теории, изложенные в настоящей главе, рассматривались бы именно в таком духе. Мы рассматриваем их не как абсолютные и окончательные законы, которые вытекают из априорных соображений, или даже не как определенные теории следующего уровня, которые нужно рассматривать в физике. Скорее мы считаем, что они являются чисто временными положениями, от которых мы отталкиваемся и с помощью которых мы надеемся идти вперед. Действительно, как мы увидим, со времени первоначальной формулировки предположений такого рода уже имеется значительный прогресс и эти теории претерпевают, как и следует ожидать в любой области научной работы, непрерывный процесс обогащения и уточнения. Мы надеемся, что этот процесс в конце концов приведет к более совершенным теориям, которые будут качественно отличаться от теорий, служивших нам исходными пунктами, но все же, быть может, связанными с ними в том же смысле, в каком взрослый человек связан с детским состоянием, с которого он начал свое развитие.

§ 2. Общие рассмотрения **субквантовомеханического уровня**

Прежде чем подробно рассмотреть некоторые конкретные теории, о которых мы упоминали в § 1, мы сначала сделаем ряд общих замечаний о субквантово-

механическом уровне, который может быть рассмотрен с помощью таких конкретных теорий.

Прежде всего мы отметим, что если мы принимаем гипотезу о субквантовомеханическом уровне, содержащем скрытые переменные, то, как было указано в главе III, § 3, мы вынуждены рассматривать статистический характер современной квантовой теории как происходящий вследствие наличия случайных флуктуаций сущностей нового вида, которые присутствуют на более низком уровне. Если мы рассматриваем только те сущности, которые могут быть определены лишь на одном квантовомеханическом уровне, их движение будет в полном смысле недетерминировано потому, что важные детерминирующие факторы (т. е. скрытые переменные) на этом уровне просто не могут быть определены. Следовательно, как и в обычной интерпретации квантовой теории, мы рассматриваем индетерминированность, вытекающую из принципа Гейзенберга, как объективную необходимость, а не только как следствие просто недостаточности знаний относительно некоторых гипотетических «истинных» состояний квантовомеханических переменных. Таким образом, наша точка зрения отличается от обычной не наличием индетерминированности и не необходимостью использования статистической теории, так как эти черты являются общими для обеих точек зрения. Коренное различие состоит в том, что мы рассматриваем этот особый вид индетерминистичности и необходимость специфического статистического рассмотрения как нечто присущее только квантовомеханическому уровню так, что, расширяя круг рассматриваемых явлений, мы можем сделать индетерминированность меньше пределов, поставленных принципом Гейзенберга.

Для того чтобы выйти за пределы, поставленные принципом Гейзенберга, нужно будет использовать новые виды физических процессов, которые существенно зависят от деталей процессов, происходящих на субквантовомеханическом уровне. Как мы ниже увидим, есть некоторые основания полагать, что такие процессы могут быть обнаружены в области очень больших энергий и очень малых расстояний. Однако ясно, что в любом процессе, который может быть рассмотрен с определенной степенью приближения на основе законов

современной квантовой теории, сущности более низкого уровня не могут играть никакой очень значительной роли. В таком случае об этих сущностях мы можем мало что узнать, наблюдая результаты этого вида процесса. Поэтому при таком наблюдении принцип Гейзенберга был бы применим с очень высокой степенью приближения как правильное ограничение возможной точности определения состояния индивидуальной физической системы, тогда как очевидно, что, если бы мы наблюдали систему с помощью физических процессов, которые сильно зависят от точных состояний скрытых переменных, это ограничение не должно быть более применимым.

Для более подробной иллюстрации того, что означает принцип индетерминированности с точки зрения субквантовомеханического уровня, будет полезно вернуться сейчас к аналогии с броуновским движением, уже рассмотренной в главе III, § 3.

Как мы видели, движение частицы дыма подвержено неупорядоченным флуктуациям, возникающим от столкновений с атомами, существующими на более глубоком уровне. В результате этих столкновений ее движения не могут быть полностью детерминированы какими-либо переменными (например, положением и скоростью частицы), существующими на уровне самого броуновского движения. Действительно, отсутствие детерминированности в броуновском движении не только качественно аналогично отсутствию детерминированности в квантовой теории, но, как было показано Фюртом [1]¹, эта аналогия даже простирается на количественную форму соотношений индетерминированности. Так, если мы наблюдаем движущуюся частицу дыма в течение некоторого небольшого интервала времени, Δt , мы найдем, что неупорядоченные флуктуации среднего значения координаты, равные ΔX , и среднего значения ее импульса, равные ΔP , удовлетворяют соотношению²

$$\Delta P \Delta X \cong C.$$

¹ Ссылка относится к списку литературы, помещенной в конце главы.

² По существу это соотношение вытекает из формулы $(\Delta x)^2 = a \Delta t$ для среднего квадратичного смещения частицы при ее неупорядоченном движении за время Δt . Таким образом, для средней квад-

Здесь C является постоянной, которая зависит от температуры газа, а также и от других свойств, например вязкости. Если читатель вспомнит § 4 главы III, то он увидит, что форма этого соотношения совпадает с соотношением Гейзенберга, за исключением того, что постоянная Планка заменена на постоянную C , которая зависит от состояния газа.

Однако в некотором важном отношении аналогия между броуновским движением и квантовой теорией не является полной. Это различие по существу заключается в том, что C в отличие от h не является универсальной постоянной. В результате, по крайней мере принципиально, соответствующим образом изменяя условия, постоянную C можно сделать сколь угодно малой (например, понижая температуру) и таким образом сделать индетерминированность меньше любой желаемой величины. С другой стороны, постоянная h никоим образом не зависит от условий, поэтому соотношения Гейзенберга подразумевают, поскольку мы так можем сказать, наличие универсальной индетерминированности, по крайней мере в квантовомеханической области. Это означает, что, в то время как мы можем путем соответствующего выбора условий построить прибор (например, микроскоп), существенно не зависящий от вида броуновского движения, который мы желаем наблюдать, для квантовомеханической индетерминированности мы не можем этого осуществить. Для того чтобы сделать аналогию более строгой, мы должны, следовательно, предположить, что в квантовой области мы по существу ограничены применением прибора, который сам находится в броуновском движении, сравнимом с броуновским движением микросистем, которые мы стараемся наблюдать. Однако, если мы вспомним, что с нашей точки зрения *вся* материя во всех известных проявлениях непрерывно испытывает флуктуации, воз-

ратической флуктуации импульса мы имеем (предполагая для простоты, что среднее значение скорости равно нулю).

$$\overline{(\Delta P)^2} = m^2 \frac{\overline{(\Delta x)^2}}{(\Delta t)^2} = \frac{m^2 a}{\Delta t}$$

Тогда, если $\Delta X = [(\overline{\Delta x^2})]^{1/2}$, то мы получим $\Delta X \Delta P = ma = C$.

никающие на субквантовомеханическом уровне, мы можем видеть, что вышеприведенное расширение аналогии является оправданным. Считая, что эти флуктуации присутствуют везде, обладая по существу одними и теми же характеристиками, мы приходим к выводу о том, что универсальный и однородный характер ограничений, накладываемый принципом Гейзенберга в квантовой области, не должен быть неожиданным следствием наших предположений.

Для преодоления этих ограничений мы должны были бы, как указывалось выше, воспользоваться свойствами материи, которые существенно зависят от субквантовомеханического уровня. Одним из путей этого преодоления было бы проведение наблюдений с помощью процессов, протекающих очень быстро по сравнению с субквантовомеханическими флуктуациями, так чтобы полное измерение было проведено прежде, чем эти флуктуации смогли очень сильно изменить свойства вещей (так же, как для фотографирования быстро движущегося предмета необходима очень малая выдержка). Такие быстрые процессы, видимо, должны быть получены в области высоких энергий, поскольку из соотношения Эйнштейна $E = h\nu$ вытекает, что процесс, связанный с высокой энергией E , протекает с большой частотой ν .

Наконец, аналогия с броуновским движением служит также для выявления двух различных способов ограничения, в которых может проявляться индетерминированность как таковая, возникающая в неупорядоченных субквантовомеханических флуктуациях. Так как, если мы рассмотрим не броуновское движение частиц дыма, а броуновское движение очень мелких капелек тумана, то, очевидно, будет иметь место некоторая индетерминированность движения этих капелек, от которой можно избавиться, лишь переходя к более широкому кругу явлений, включающему непрерывные соударения молекул воздуха с этими капельками. Однако остается верным, что при нерегулярном броуновском движении эти капельки сохраняют характерную черту способа своего существования как очень малых тел. С другой стороны, по мере приближения к критиче-

ской температуре и к критическому давлению газа¹ обнаруживается новое поведение, так как мелкие капельки перестают быть стабильными. Тогда вещество переходит в фазу, в которой капельки все время образуются и распадаются, и в результате вещество начинает опалесцировать.

В данном случае мы имеем дело с флуктуацией нового вида, которая приводит к индетерминированности самого способа существования вещества (т. е. между существованием его в форме капелек и существованием его в форме однородного газа).

Аналогично возможно, что в конце концов будет обнаружена индетерминистичность самого способа существования электрона, если мы поймем детали квантовых флуктуаций. Действительно, то обстоятельство, что электрон в своем поведении обнаруживает характерный волновокорпускулярный дуализм, могло бы навести на мысль о том, что, может быть, мы будем иметь дело с индетерминированностью второго рода, так как если такая индетерминированность существует, то она привела бы к представлению об электроне как о сущности, которая может непрерывно флуктуировать от волнообразности к корпускулярности. Данная сущность могла бы проявить оба способа поведения, каждый из которых, однако, проявлялся бы по-разному в окружениях различного вида, созданных, например, различным расположением лабораторных приборов.

Конечно, в настоящее время мы никак не можем решить, какая из этих интерпретаций принципа индетерминированности является правильной. Такое решение будет возможно лишь в том случае, если будет построена строгая теория процессов, происходящих ниже уровня, с которым имеет дело квантовая теория. Однако пока важно учитывать обе эти возможности. Поэтому мы рассмотрим далее примеры теорий обоих видов.

¹ Критические температуры и давление определяют точку, в которой исчезает различие между газом и жидкостью. Выше этой точки не существует резкого качественного перехода между жидкостью и газом, в то время как ниже этой точки такой переход имеется. Если мы нагреем жидкость, заключенную в жесткий сосуд, до температуры, которая будет превосходить ее критическую, мениск, разделяющий газообразную и жидкую фазы, исчезнет, указывая, что в этом случае существует лишь одна фаза, которую можно рассматривать как очень плотный газ.

§ 3. Краткий исторический обзор иных интерпретаций квантовой теории

Существенно отметить, что первые попытки по направлению к иной интерпретации квантовой теории были сделаны примерно тридцать лет назад де Бройлем [2] и Маделунгом [3] примерно в одно и то же время, когда обычная интерпретация принимала свою современную законченную форму. Однако ни одна из этих попыток не была осуществлена достаточно полно для того, чтобы она смогла показать возможность последовательной трактовки всех существенных сторон квантовой теории. Действительно, интерпретация де Бройля была подвергнута суровой критике некоторыми сторонниками обычной интерпретации [4]. Частично в результате этой критики, а частично в результате дополнительных критических замечаний самого де Бройля, он надолго оставил свои предположения [5].

После неудачи этих попыток лишь с 1950 г. начали предприниматься в значительных размерах систематические попытки поставить под сомнение обычную интерпретацию квантовой теории. Среди наиболее далеко идущих ранних критических попыток в этом направлении были попытки Д. И. Блохинцева и Я. П. Терлецкого [6]. Эти физики выяснили, что нет необходимости принимать интерпретацию Бора и Гейзенберга, и, наоборот, показали, что можно последовательно рассматривать современную квантовую теорию как имеющую существенно статистический характер, которая в конечном счете должна быть дополнена более детальной теорией, позволяющей более полно рассматривать поведение индивидуальной системы. Однако они фактически не выдвинули никаких конкретных теорий или моделей для рассмотрения индивидуальных систем. Затем в 1951 г. отчасти в результате плодотворных дискуссий с д-ром Эйнштейном автор начал искать такую модель; и, действительно, вскоре после этого [7] он нашел простое причинное объяснение квантовой механики, которое, как он узнал позднее, уже было предложено де Бройлем в 1927 г. Однако за это время сама теория развилась достаточно для того, чтобы ответить на основные возражения, которые выдвигались против предложений

де Бройля. Это было сделано в основном с помощью теории измерений, которая показала, что новая интерпретация согласуется со всеми существенными чертами квантовой теории. Частично в результате этой работы, а частично в результате дополнительных соображений, принадлежавших Вижье [9], де Бройль [5] тогда вернулся к своим первоначальным предположениям, поскольку он пришел к выводу, что теперь можно ответить на основные возражения против них.

Как указывалось в § 1, в то время автор не ставил своей главной целью построение определенной новой теории, а скорее стремился показать с помощью конкретного примера, что иные интерпретации квантовой теории фактически возможны. Действительно, теория в своей первоначальной форме, несмотря на полную логическую непротиворечивость, имела ряд черт, которые представляются совершенно искусственными и неудовлетворительными [10]. Тем не менее, как бы ни были искусственны некоторые из этих черт, представлялось, что теория может служить в качестве полезного отправного пункта для дальнейшего развития, которое, как надеялись, могло бы видоизменить и обогатить ее в достаточной степени для того, чтобы устранить эти неудовлетворительные черты. Такое развитие, которое действительно имело место [11, 12], по крайней мере неполное, и которое еще продолжается, будет рассмотрено более подробно в § 5. Однако тем временем в том же самом общем направлении был сделан ряд в значительной мере независимых попыток Вижье [9], Такабаяси [13], Феньешем [14], Вейцелем [15] и многими другими. Хотя ни одна из вышеупомянутых попыток не могла полностью обойти некоторые искусственные или иные неудовлетворительные черты, каждая из них вводит новые идеи, достойные дальнейшей разработки. В таком случае ясно, что даже если никакая из выдвинутых до настоящего времени иных интерпретаций квантовой теории не привела к новой теории, которая могла бы рассматриваться как законченная, тем не менее попытка найти такие теории становится предметом исследования со стороны все возрастающего числа физиков, которые, очевидно, не совсем удовлетворены существующими направлениями исследования, возможными в рамках обычной интерпретации.

§ 4. Конкретный пример иной интерпретации квантовой теории

В этом параграфе мы приведем качественный конкретный пример иной интерпретации квантовой теории. Первоначально он был предложен автором в несколько другой форме. Позднее автор внес ряд видоизменений и новых черт, которые направлены на устранение некоторых неудовлетворительных сторон более ранних предложений.

Сначала мы напомним, что в квантовомеханической области материи может при различных условиях проявляться либо волновое, либо корпускулярное поведение, так что волновое представление и корпускулярное представление, каждое *само по себе*, очевидно, неспособно отразить все богатство свойств, обнаруживаемых материей в этой области. Тогда при рассмотрении этой проблемы напрашивается идея, заключающаяся в том, что, быть может, причина трудности содержится в том, что ранее существовавшие теории рассматривали лишь две возможности, а именно возможности существования волны в чистом виде и возможности существования частицы в чистом виде, причем эти две возможности рассматривались как взаимоисключающие. С другой стороны, вполне возможно, что в любом данном процессе и волна, и частица могут существовать *вместе* в виде некоторого единства. Разумеется, это предложение не очень обогащает доньше использовавшиеся представления, но, как мы увидим, оно уже может представлять существенные свойства материи в квантовой области.

Теперь мы более детально сформулируем эту точку зрения. Сначала мы постулируем, что с каждой из физических «элементарных» частиц (например, электроном) связано тело, занимающее малую область пространства. Каков вероятный размер этой области, мы обсудим ниже, но пока мы лишь предположим, что он меньше размера атома и фактически так мал, что в большинстве применений на атомном уровне тело можно приближенно рассматривать как математическую точку (так же, как и в более ранних формах атомной теории для различных целей, атомы можно было приближенно рассматривать как точки.)

В качестве следующего шага мы предположим, что с телом связана волна, без которой тело не обнаруживается. Мы предположим, что эта волна будет представлять собой колебание некоторого нового поля, которое математически описывается ψ -полем Шредингера. Другими словами, теперь мы будем исходить не из предположения, что шредингеровская волновая функция является не чем иным, как математическим символом, с которым удобно иметь дело для вычисления определенных вероятностей, а, наоборот, из предположения, что она представляет объективное реальное поле, до некоторой степени похожее на гравитационное и электромагнитное, но имеющее свои собственные характерные черты. Это поле не удовлетворяет ни уравнениям Максвелла, ни уравнениям гравитационного поля, а удовлетворяет уравнению Шредингера, которое, однако, как и в случае других полей, представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных, определяющее будущие изменения поля через его значения во всех точках пространства в заданный момент времени¹.

Теперь мы предполагаем, что ψ -поле и тело взаимосвязаны в том смысле, что действие ψ -поля на тело представляет собой «квантовомеханическую» силу нового рода, силу, которая начинает проявляться значительно лишь в атомной области. Поэтому ясно, почему она не обнаруживалась при изучении явлений крупномасштабного уровня. Мы также предполагаем, что тело может в свою очередь оказывать действие на ψ -поле, но это обратное влияние достаточно мало, поэтому в квантовомеханической области им можно было пренебречь, даже если оно, как мы увидим ниже, видимо, значительно в субквантовомеханической области.

Точный характер квантовомеханической силы, с которой ψ -поле действует на тело, не очень важен на рассматриваемом нами уровне теории, потому что весьма различные конкретные формы силы могли бы привести по существу к одинаковым результатам. Сейчас важно предположить, что сила должна, например,

¹ ψ -поле является комплексным, но это не создает никаких реальных трудностей, поскольку мы всегда можем записать его как $U + iV$, где U и V — вещественны. Таким образом, ψ -функция является сокращенной записью двух связанных вещественных полей (см. D. Bohm, Quantum Theory, гл. III).

приводить к тому, что тело будет стремиться находиться в области, где $|\psi|$ имеет наибольшее значение¹.

Если мы ограничимся вышеуказанным, то тело в конечном счете должно было бы находиться там, где ψ -поле имеет наибольшую интенсивность. Далее мы предположим, что осуществлению этой тенденции поведения электрона мешают неупорядоченные движения, испытываемые телом, движения, которые аналогичны броуновскому движению. Ясно, что они могли бы иметь много источников. Например, они могли бы возникнуть вследствие неупорядоченных флуктуаций самого ψ -поля. Конечно, для всех других известных донине полей характерно, что типичные решения уравнений поля представляют, вообще говоря, лишь некоторый вид усредненного движения. Например, реальные электромагнитные поля колеблются не простым и упорядоченным образом, а, вообще говоря, они претерпевают сложные и нерегулярные флуктуации (например, флуктуации, имеющие место при тепловом излучении атомов стенок сосуда и т. д.). Аналогично гидродинамические поля, представляющие распределения скоростей и плотности обычных жидкостей, вообще говоря, испытывают турбулентные флуктуации относительно средних значений, удовлетворяющих определенным видам упрощенных гидродинамических уравнений. Следовательно, было бы разумно предположить, что ψ -поле претерпевает неупорядоченные флуктуации относительно среднего значения, удовлетворяющего уравнению Шредингера, и что эти флуктуации сообщаются телу. Тогда детали этих флуктуаций представляли бы свойства поля, связанного с субквантовомеханическим уровнем, поскольку на квантовомеханическом уровне поведение объектов рассмат-

¹ Отметим, что «квантовая сила» в этой модели совершенно отлична от «квантовой силы» в некоторых более ранних моделях, рассмотренных в [7] и [8]. В этих ранних моделях предполагалось, что эта сила возникает вследствие наличия потенциала $-\hbar^2 \Delta^2 R / 2mR$, где $\psi = Re^{iS/\hbar}$, а R и S — действительны. В данном случае нет необходимости для подобного предположения. Настоящая модель имеет преимущество, заключающееся в том, что она принципиально проще для понимания, чем ранние модели. Более того, как мы увидим в § 6, она больше согласуется с теорией относительности и наличием спина электрона.

ривается в среднем и удовлетворяет уравнению Шредингера. С другой стороны, тела могли бы быть приведены в неупорядоченное движение вследствие процессов на субквантовомеханическом уровне и другими путями, например, как в случае обычного броуновского движения, путем непосредственного взаимодействия с сущностями новых видов, имеющимися на более низком уровне. Конечно, на нынешней стадии теории механизм возникновения таких флуктуаций не является существенным. В данном случае важно лишь предположить, что они существуют и важно увидеть их действия. Вопрос об их происхождении уместно поднять лишь при изучении субквантовомеханического уровня.

Предположив существование этих флуктуаций, мы видим, что они вызывают тенденцию к более или менее неупорядоченному блужданию тела по всему доступному для него пространству. Но осуществлению этой тенденции мешает наличие «квантовой силы», которая устремляет тело в области, где ψ -поле наиболее интенсивно. В итоге мы получим среднее распределение статистического ансамбля тел, преобладающее в областях с наибольшей интенсивностью ψ -поля, но которая еще оставляет определенную возможность для пребывания тела некоторое время там, где ψ -поле относительно слабо. Конечно, аналогичное поведение получается при классическом броуновском движении частиц в гравитационном поле, где неупорядоченному движению, которое стремится распределить частицы по всему объему сосуда, противодействует гравитационное поле, которое стремится сосредоточить их на дне сосуда. В этом случае в итоге получается вероятностное распределение¹ $P = e^{-mgz/kT}$, которое описывает стремление частиц к сосредоточению на дне сосуда, и все же иногда в силу неупорядоченных движений, поднимающихся на большую высоту. В квантовомеханической задаче можно показать, как это сделано у некоторых авторов², что при некоторых физических разумных предположениях о квантовой силе и неупорядоченных движениях, возникающих

¹ Здесь m — масса частицы, z — высота, T — температура среды, g — ускорение силы тяжести и k — постоянная Больцмана.

² См. (11).

на субквантовомеханическом уровне, мы получим вероятностное распределение Борна $P = |\psi|^2$.

В чем смысл этого результата? Он означает, что вместо того, чтобы исходить из вероятностного распределения Борна, как абсолютного, первичного и необъяснимого свойства материи, мы показали, что это свойство может вызываться неупорядоченными движениями, возникающими на субквантовомеханическом уровне.

Более детальное рассмотрение (см. [7, 8 и 11]) показывает, что вышеупомянутый результат необходимо

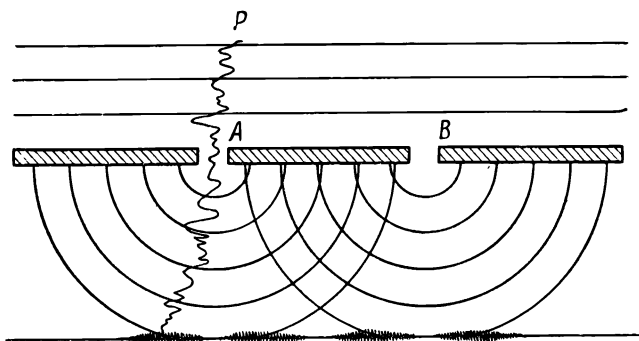


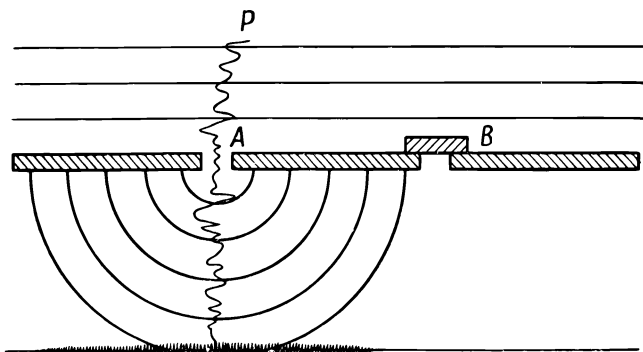
Рис. 6А

приводит к интерпретации, которая охватывает все существенные результаты квантовой теории. Однако здесь мы только проиллюстрируем один путь подхода к этому, а именно объяснение волново-корпускулярного дуализма. Для этого мы рассмотрим эксперимент, в котором электроны падают отдельно и независимо под прямым углом на систему двух щелей, показанную на рис. 6А. Предполагается, что каждый электрон в начальный момент имеет одинаковый импульс и, следовательно, одинаковую волновую функцию¹, которая фак-

¹ Это следует из соотношения де Бройля $p = h/\lambda$, так как поле Шредингера для всех электронов будет тогда иметь одинаковую форму: $e^{ipz/\hbar}$. Конечно, в действительности все волны должны состоять из пакетов, но в этом случае пакет настолько шире щели, что мы можем приближенно представить его бесконечной плоской волной. См., например, D. Bohm, Quantum Theory, глава 3.

тически принимает форму плоской волны, падающей на систему щелей под прямым углом. Эти волны будут диффрагировать сквозь систему щелей, как показано на рисунке, и на детектирующем экране будет получено распределение областей высокой и малой интенсивности, так же как и в случае световых квантов, рассмотренном в главе III.

Однако малое тело, связанное с электроном, претерпевает неупорядоченное движение. Так, от точки P оно идет по нерегулярному пути, показанному на рис. 6А.



Р и с 6В.

Тогда каждый электрон попадает в определенную точку экрана. После того как большое число электронов прошло через систему щелей, мы получили статистическое распределение плотности электронов, пропорциональное интенсивности поля $|\psi^2|$ на экране. Статистически электрон стремится оказаться там, где $|\psi|^2$ имеет наибольшую величину, что обусловлено действием «квантовой силы», в то время как неупорядоченные движения объясняют причину нерегулярной флуктуации точных попаданий на экран.

Теперь предположим, что мы закрыли щель B . Волновая картина не будет теперь, как показано на рис. 6В, состоять из полос различного количества электронов, попавших на экран. Таким образом, на экране мы получим новую картину распределения электронов. Следовательно, закрытие щели B влияет даже на частицы, проходящие сквозь щель A , потому что на частицу во время

движения между системой щелей и экраном действует «квантовая сила».

Таким образом, мы можем понять, как возникает волново-корпускулярный дуализм. В обычной интерпретации этого понять нельзя. Мы можем принять без дальнейшего обсуждения тот факт, что электроны входят в систему щелей и образуют на экране интерференционную картину. Вопрос о том, как это происходит, не может быть даже и поставлен в рамках обычной интерпретации. Так, согласно принципу дополнительности, описанному в главе III, § 7, мы можем использовать волновую модель для рассмотрения того, как система щелей определяет статистическую интерференционную картину, и мы можем использовать корпускулярную модель для объяснения того факта, что частицы попадают в отдельные точки экрана, а не распределяются непрерывно. Но предполагается, что нельзя выработать какое-либо общее понятие, которое могло бы позволить нам рассмотреть, как отдельная материальная система, представляемая как пребывающая в принципе в состоянии строго определенного и однозначного движения, могла бы распределяться на экране в виде статистической интерференционной картины и в виде ряда дискретных точек. Но, как мы здесь видели, этот результат получен с помощью удобного для нас рассмотрения электрона как комбинации частицы и поля, взаимосвязанных и претерпевающих соответствующие неупорядоченные флуктуации в своем движении.

Наконец, отметим, что мы настаиваем, что наша модель является основой чисто причинной теории, так как мы использовали также предположение о неупорядоченных флуктуациях, возникающих на более глубоком уровне. Однако существенным моментом является то, что законы субквантовомеханического уровня, как причинные, так и статистические, качественно отличны от законов квантового уровня и приводят к этим последним, как к приближению. Таким образом, вопрос о причине справедливости уравнения Шредингера на более низком уровне неуместен, поскольку предполагается, что это уравнение в среднем верно лишь на более высоком уровне. В действительности ψ -поле само по себе лишь может быть усреднением переменных нового вида, определенных на более низком уровне.

Также вполне возможно, что приближение, при котором мы пренебрегаем обратным действием тела на ϕ -поле, должно оказаться здесь несостоятельным. Более того, вполне очевидно, что приближение, в котором мы рассматриваем тело как точку (и пренебрегаем, таким образом, его внутренним строением), должно оказаться несостоятельным для случая процессов, происходящих на более низком уровне.

Тогда, вообще говоря, видно, что открывается огромная область возможностей создания новых видов теорий, приводящих к современной теории в квантовой области как к хорошему приближению и к весьма различным видам теорий в новых областях. Эти возможности не могут быть рассмотрены, если мы придерживаемся предположения об абсолютной и окончательной справедливости принципа индетерминированности, а вместе с ним обычной интерпретации квантовой теории. И, как мы увидим далее, имеются веские основания предполагать, что некоторые из этих возможностей, видимо, помогут нам рассмотреть новые области явлений, связанных с очень высокими энергиями и очень малыми расстояниями.

§ 5. Критика новой интерпретации квантовой теории

Теперь мы рассмотрим ряд существенных критических замечаний в адрес изложенной в § 4 интерпретации квантовой теории.

Во-первых, следует указать, что в представленном виде теория не учитывает некоторых важных проблем, например проблем, связанных со спином электрона и теорией относительности. Однако верно, что уравнение Шредингера, которое не учитывает спин и релятивистские эффекты, является все-таки до некоторой степени довольно хорошим приближением; оно не годится ни для области очень высоких энергий, ни даже для очень строгого рассмотрения области низких энергий. Поскольку нашей целью является применение новой интерпретации в области высоких энергий, необходимо рассмотреть спин и релятивистские эффекты. Это потребует рассмотрения нами уравнения Дирака, которое учитывает действия этих общих свойств.

Во-вторых, даже в области малых энергий мы сталкиваемся с серьезной проблемой, когда мы распространяем изложенную в § 4 теорию на рассмотрение более чем одного электрона. Эта трудность обусловлена тем, что в этом случае уравнение Шредингера (а также и уравнение Дирака) описывает волну не в обычном трехмерном пространстве, а в абстрактном $3N$ -мерном пространстве, где N — число частиц¹. В то время как наша теория может быть формально логически последовательно расширена путем введения представлений о волне в $3N$ -мерном пространстве², очевидно, что эта процедура в действительности не приемлема для физической теории, и ее нужно рассматривать, по крайней мере как вспомогательное средство, которое используется нами временно, пока мы не получили более хорошую теорию, в которой все выражается опять в трехмерном пространстве.

Наконец, наша модель, в которой волна и частица рассматриваются как коренным образом различные сущности, которые взаимодействуют несущественным для их способа бытия образом, не представляется нам весьма правдоподобной.

Тот факт, что волна и частица никогда не обнаруживаются порознь, наводит на мысль о том, что они обе являются различными сторонами некоторого фундаментально нового вида сущности, которая, видимо, совершенно отлична от простой волны или простой частицы, но которая приводит к этим двум предельным проявлениям как к приближениям, справедливым в соответствующих условиях.

Однако следует подчеркнуть, что эти критические замечания ни в коем случае не направлены против логической состоятельности модели или ее способности объяснить существенные характеристики квантовой области. Скорее, они основаны на широких критериях, которые

¹ Понятие $3N$ -мерного пространства является чисто математическим. Точка в трехмерном пространстве может быть описана тремя числами, которые являются ее тремя координатами. Эту идею можно обобщить чисто математически. Так, с помощью четырех чисел мы можем описывать координаты точки в четырехмерном пространстве, а с помощью N таких чисел — координаты в N -мерном пространстве.

² Это сделано в [7 и 8].

заставляют думать, что многие черты теории не являются правдоподобными и, говоря в более общем смысле, что интерпретация, предложенная в § 4, недостаточно глубока. Таким образом, вернее всего, что эта интерпретация является довольно схематичной интерпретацией, которая упрощает в сущности очень сложный процесс выражения ее через понятия взаимодействующих волн и частиц.

§ 6. Дальнейшее развитие теории

Теперь мы рассмотрим ряд видоизменений и новых моментов, которые были внесены в теорию с целью способствовать решению проблем, поставленных критическими замечаниями, которые были рассмотрены нами в § 5.

Мы начнем с рассмотрения проблемы спина. Здесь мы прежде всего попытались распространить теорию на уравнение Паули, которое учитывает спин, но не учитывает релятивистские эффекты. Поэтому оно справедливо лишь для скоростей, малых по сравнению со скоростью света.

Для того чтобы подойти к решению этой проблемы, мы были вынуждены ввести несколько сравнительно новых идей. В качестве первого шага мы отказались от приближенного представления тела, связанного с электроном, в виде математической точки. Наиболее элементарным новым видом движения, которое может совершать тело конечного размера (по сравнению с движениями точки), является вращение относительно его центра масс. Действительно, как показано в элементарных учебниках механики, если тело рассматривается как вполне твердое, его внутренние движения могут быть полностью описаны тремя углами (углами Эйлера), которые определяют его пространственную ориентацию. Конечно, никакое реальное тело не может рассматриваться как идеально твердое, но мы можем предположить, что тело, с которым мы имеем дело, является достаточно твердым, настолько, что мы можем, по крайней мере на интересующем нас уровне, пренебречь неидеальностью твердости. В таком случае спин электрона истолковывается с помощью представления о вращении тела, которое обуславливает возникновение «затравочного»

момента количества движения, являющегося добавкой к моменту количества движения, обусловленному орбитальным движением.

Тогда на основе этой более развернутой модели мы можем дать полное и последовательное истолкование уравнения Паули. Мы не хотим здесь вдаваться в подробности, которые изложены в [12], а просто укажем, что для получения спина электрона было достаточно расширить теорию. Это расширение вполне естественно, и его идея фактически неявно содержалась даже в предыдущей теории, а именно она заключалась в том, что тела не рассматривались как точки.

Далее мы распространили теорию на уравнение Дирака и, таким образом, учли релятивистские эффекты¹. Мы не будем рассматривать здесь детали этой теории, так как они имеют чисто методическое значение. Однако стоит упомянуть, что из этой модели следует нечто новое. Мы нашли, что эта модель допускает несколько различных видов колебаний ϕ -поля. При одном из этих видов она удовлетворяет уравнению Дирака. Но модель для уравнения Шредингера, рассмотренная в § 4, удовлетворяет уравнению Дирака лишь приближенно, а именно в случае колебаний поля относительно неупорядоченно флуктуирующего фона, колебания которого в среднем равны нулю. Но тогда оно может колебаться так, что некоторые функции от ϕ -поля удовлетворяют уравнениям Максвелла, которые, как мы видели в главе II, § 6, являются уравнениями, которым удовлетворяет электромагнитное поле. Причем найдено, что в приближении более высокого порядка эти два колебания соответствующим образом связаны (то есть так, как это признано необходимым в современных теориях для правильного рассмотрения соотношения между электроном и электромагнитным полем). Таким образом, в одной теории мы можем рассматривать два вида полей, которые ранее просто постулировались порознь вместе с их взаимодействием. Кроме того, теория является достаточно богатой для того, чтобы она могла привести к еще большему количеству видов колебаний, и в § 8 мы увидим, что эти виды могут соответствовать новым видам

¹ Эта работа была закончена лишь недавно и будет вскоре опубликована.

частиц, например мезонам, которые обнаруживаются в процессах с очень высокой энергией.

Что касается второго критического замечания, упомянутого в § 5, относительно трудностей, связанных с необходимостью введения полей в многомерном пространстве для рассмотрения проблемы многих тел, то в направлении отыскания выхода из этой трудности уже проделана большая работа¹. Эта работа основана не на уравнении Шредингера для многих тел, которое определено в многомерном пространстве, а скорее на так называемой теории «вторично-квантованного» поля, основные величины которого определены в трехмерном пространстве. Большинство физиков-теоретиков вообще считают эту теорию наилучшей и наиболее фундаментальной из всех существующих формулировок квантовой теории как таковой.

В этой теории исходным пунктом является предположение о том, что основными сущностями являются поля, например электромагнитное, электронное, мезонное и т. д. Затем эти поля рассматриваются как механические системы, подчиняющиеся общим законам квантовой теории. Эти законы включают в себя ряд важных свойств полей. А именно:

1) Даже в вакууме поля претерпевают интенсивные и очень быстрые неупорядоченные флуктуации. Однако эти флуктуации представляют однородный фон, не наблюдаемый непосредственно на макроскопическом уровне потому, что после усреднения они оказывают на этом уровне пренебрежимо малое действие.

2) Кроме этих неупорядоченных флуктуаций, существуют сравнительно малые систематические колебания. Эти колебания на макроскопическом уровне взаимно не компенсируются, а складываются и приводят к совокупным эффектам, которые обнаруживаются на макроскопическом уровне. Материя в том виде, в каком она воспринимается на более высоких уровнях, является результатом этих систематических колебаний. Так, присутствие электрона в определенной области пространства означает, согласно этой теории, что в этой области существует систематическое, но локализованное колебание,

¹ Де Бройль и Вижье предложили другое направление поисков решения этой проблемы. См. [5 и 9].

обуславливающее все явления, из которых можно определить свойства электрона (заряд, массу, импульс, момент количества движения и т. д.).

3) Законы квантовой теории означают, что некоторые свойства поля будут дискретными (например, заряд, масса, энергия, импульс, момент количества движения). Эта дискретность обуславливает корпускулярные свойства поля.

В обычной интерпретации квантовая теория поля аналогична другим формам квантовой теории, рассматриваемым лишь как средство оперирования с математическими символами с целью получения правильного объяснения или предсказания некоторых экспериментальных результатов. Таким образом, упомянутым выше свойствам не придается серьезного физического значения, а по существу они рассматриваются в лучшем случае как вспомогательное средство для проведения математических операций. С другой стороны, мы приняли здесь точку зрения, согласно которой предполагаем, что микроскопические процессы действительно имеют место и что наша цель — понять, как они происходят. Таким образом, мы должны постараться далее развить описанную выше модель, на мысль о которой наводит квантовая теория поля.

В этой связи довольно интересным является то, что наша модель уравнения Дирака, развитая на несколько иной основе, имеет много черт, сходных с моделью, развитой на основе теории вторичного квантования. Действительно, если мы сопоставим две модели, мы придем к новой теории, из которой и уравнение Дирака и теория вторичного квантования вытекают как приближения, верные лишь на квантовомеханическом уровне. Полный смысл теории все же установить невозможно, но уже имеется много доводов в пользу следующей общей картины: согласно этой теории, поле проявляется как волна и все же (вследствие наличия нелинейных членов в уравнениях) обнаруживает тенденцию к образованию дискретных и корпускулярных концентраций энергии, заряда, импульса, массы и т. д. Таким образом, мы пришли к положению, которое скорее аналогично положению, предложенному в § 2 в связи с броуновским движением капелек тумана в условиях, близких к критической точке, а именно к положению о том, что корпускулярные

сгустки непрерывно образуются и распадаются. Конечно, если частица распадется в некотором месте, то весьма вероятно, что она опять возникнет поблизости. Таким образом, на крупномасштабном уровне корпускулярные образования ограничиваются малой областью пространства, следуя по вполне определенной траектории и т. д. Однако, с другой стороны, частица движется не как постоянно существующий объект, а образуется неупорядоченным образом из соответствующих сгустков полевой энергии.

Причем ясно, что завершение построения этой модели ответило бы не только на второе критическое замечание § 5, но также и на третье, так как в этом случае волновые и корпускулярные свойства материи должны возникать в результате движений объекта более сложного рода, существующего на более глубоком уровне, и их недостаточно просто постулировать в виде отдельных, но взаимодействующих сущностей.

Тогда мы видим, что, хотя законченная теория субквантовомеханического уровня, в которой бы естественно содержалась современная квантовая теория как приближение, справедливое на определенном уровне, все же еще не построена, открывается несколько направлений исследования, из чего вытекает, что перспективы построения такой теории никоим образом не являются отдаленными.

§ 7. Современный кризис в физике микромира

Ниже мы кратко рассмотрим современный кризис в физике микромира; это послужит нам основой для разъяснения некоторых преимуществ изложенной в настоящей главе точки зрения на квантовую теорию.

Сначала мы рассмотрим теоретическую сторону кризиса. Рассматриваемая во всех своих подробностях проблема кризиса является очень сложной, и без помощи длинных и детальных математических выкладок ее рассмотреть нельзя. Поэтому мы дадим здесь лишь обзор важнейших качественных моментов проблемы.

Применение существующей квантовой теории к электродинамике «элементарных» частиц (например, электронов, протонов и т. д.), видимо, вызывает в теории

внутренние противоречия. Эти противоречия связаны с тем, что теория дает бесконечное значение различных физических величин, например массы и заряда электрона. Все эти бесконечности возникают как следствие распространения современных теорий на очень малые расстояния. Одной из наиболее важных причин, позволяющих осуществить такое распространение, является предположение о том, что «элементарные» частицы, например электроны, являются геометрическими точками в том смысле, что они совсем не занимают объема; это предположение, видимо, является неотъемлемой частью современных теорий. С другой стороны, несмотря на многие годы активных поисков, физики-теоретики всего мира все же не получили ответа на вопрос: как внутренне непротиворечиво рассматривать в современной квантовой теории предположение о конечности размера электрона. Большинство трудностей возникает из стремления привести такое предположение в согласие с теорией относительности. Предполагалось, что бесконечности обусловлены несовершенством методики решения уравнений (то есть теории возмущений), но упорные попытки усовершенствовать эту методику не дали каких-либо обнадеживающих результатов, а полученные результаты по сути дела подтверждают следующий вывод: дело не в порочности математических методов, а скорее в том, что сама теория логически несостоятельна.

В рамках существующей теории еще можно добиться многих успехов, а именно получить результаты, которые принципиально не зависят от предположений, касающихся размера частицы. Несколько лет назад Томонага [16], Швингер [17] и Фейнман [18] получили в этой области новые важные результаты; они теоретически вычислили значения некоторых очень тонких поправок для спектра газообразного водорода, а также для магнитного момента электрона, которые совпали с экспериментально полученными значениями. Если рассматривать эти результаты как примеры успешных чрезвычайно сложных вычислений, они производят очень сильное впечатление; но проблему бесконечностей, являющуюся одним из наиболее серьезных проявлений современного кризиса в физике, они проясняют очень мало. Более тщательное знакомство с этими вычислениями показывает, что они принципиально не зависят от процессов, проте-

кающих на расстояниях, значительно меньших, чем комптоновская длина волны электрона (около $3 \cdot 10^{-11}$ см); в то же время другие соображения, которые мы сейчас изложим, дают основания полагать, что современные теории окажутся несостоятельными в области длин порядка 10^{-13} см. В таком случае согласие этих вычислений с экспериментом является отличным подтверждением правильности современной квантовой теории в области длин, в которой она до сих пор применялась с успехом. Но, кроме того, становится ясно, что из-за нечувствительности экспериментов подобного рода к деталям процессов, происходящих в очень малых областях пространства, они вряд ли представляют собой многообещающий инструмент для исследований в этой области.

С другой стороны, при экспериментах с частицами очень высоких энергий (порядка 100 миллионов электронвольт и выше) обнаружен ряд новых поразительных явлений, которые в рамках существующей теории не могут быть удовлетворительно объяснены. Как мы уже указывали в предыдущих главах, известно, что так называемые «элементарные частицы», например протоны и нейтроны, могут превращаться друг в друга. Более того, было открыто множество новых частиц: позитрон, нейтрино, около десяти видов «мезонов» и несколько новых видов частиц, называемых гиперонами. И в перспективе пока не видно предела открытию новых частиц. Большинство этих новых частиц нестабильны, они могут превращаться друг в друга и в конечном счете распадаться на нейтрино, электроны и протоны. Кроме того, все они могут рождаться при столкновении других частиц высокой энергии с ядрами. Кроме того, более тщательный анализ этих данных дает основание полагать, что эти новые свойства материи становятся существенными лишь при сближении частиц на расстояние порядка 10^{-13} см и меньше. Следовательно, с помощью экспериментов, проводившихся в области длин порядка размера атома, эти новые свойства обнаружить было нельзя.

В таком случае очевидно, что общая схема, согласно которой вселенная рассматривается построенной из нескольких видов «элементарных частиц», оказывается несостоятельной; следовательно, возникает необходимость в ряде совершенно новых понятий. Так, полвека назад,

вскоре после того, как была открыта аналогичная нестабильность и превращаемость атомов в радиоактивных процессах, стало ясно, что химические элементы на самом деле не являются элементарными, а состоят фактически из протонов, электронов и нейтронов. Аналогично этому разумно заключить, что в экспериментах с высокими энергиями мы так возбуждаем частицу, которая пока считается элементарной, что начинает проявляться ее реальная структура. Согласно вышеприведенным соображениям, детали структуры должны иметь размер порядка 10^{-13} см.

Легко видеть, что имеются веские доводы в пользу предположения о существовании связи между проблемой структуры «элементарных частиц» и проблемой бесконечностей, возникающих в современных теориях. Ибо если частицы имеют структуру, то это означает, что они занимают какой-то объем. А коль скоро они имеют объем, то их нельзя считать геометрическими точками; следовательно, причина возникновения бесконечностей устраняется. Однако мы пока еще не знаем, какова внутренняя структура этих частиц, найти ее — наша сегодняшняя задача. Конечно, она должна быть чем-то новым по сравнению с известными на сей день типами структур. В следующих параграфах мы рассмотрим данные о природе этой структуры, имеющиеся в настоящее время.

§ 8. Преимущество новой интерпретации квантовой теории как руководящего принципа для исследований в новых областях

Ниже мы рассмотрим некоторые важнейшие преимущества предложенной новой интерпретации квантовой теории перед обычным истолкованием как руководящего принципа для исследований, направленных на преодоление этого кризиса.

Во-первых, вспомним, что одной из принципиальных проблем, встающих перед нами в этой области, является проблема структуры «элементарных частиц» и видов движения, имеющих место внутри этой структуры — движений, которые могут помочь объяснить «рождение» и «уничтожение» частиц различного рода и их взаимопре-

вращения. В рамках обычного истолкования квантовой теории рассмотреть эту проблему чрезвычайно трудно по следующей причине. Если мы не понимаем происходящие процессы с точки зрения строения материи, мы обречены на проведение вслепую математических вычислений и можем лишь надеяться, что какой-нибудь из расчетов положит начало новой и правильной теории.

Во-вторых, обычная интерпретация квантовой теории включает в себе некоторую общую математическую и физическую схему, которая плохо согласуется с представлением о новых видах свойств материи, связанных с внутренней «структурой» элементарных частиц. Эта общая схема, о которой мы уже упоминали в главе III, § 9, включает в себя условие линейности уравнений для волновой функции в конфигурационном пространстве, «наблюдаемые» величины, описываемые линейными операторами, чисто вероятностное истолкование волновых функций и т. д. В рамках этой схемы единственной математической возможностью, видимо, будет видоизменение современных вариантов квантовой теории с помощью такого изменения уравнений, которое как-нибудь позволит устранить бесконечности, связанные с малыми расстояниями. За последние двадцать лет было предпринято много попыток достигнуть это с помощью различных методов (обрезание, квантование пространства, S -матрица и т. д.), но ни одна из этих попыток не привела к построению непротиворечивой теории. Вообще говоря, предпринимая эти попытки, ученые руководствовались следующим принципом, который, как мы видели в § 1, разделяется современными физиками-теоретиками: в будущих теориях поведение объектов будет еще менее детерминированным, чем в современных теориях. Конечно, в настоящее время нельзя доказать явной неверности этого принципа. Но неудачи большинства уже предпринятых попыток дают основание полагать, что могут оказаться плодотворными и другие подходы, особенно если считать (см. предыдущую главу), что единственный ныне существующий подход во всяком случае не подтверждается ни экспериментальными, ни теоретическими физическими доводами.

С другой стороны, возможно, что, если мы рассмотрим эти проблемы с точки зрения новой интерпретации квантовой теории, то перед нами откроется много новых

интересных возможностей. Исследование значительно облегчится тем, что мы можем представить себе происходящее, а это может натолкнуть нас на новые идеи. Мы будем мыслить понятиями и моделями, которые помогут нам получить новые уравнения, что с помощью одних математических методов сделать вряд ли возможно.

Однако более важно то, что с помощью понятия субквантовомеханического уровня мы сможем рассмотреть целый ряд качественно новых теорий, по отношению к которым обычная форма квантовой теории является приближением, верным лишь в предельных случаях. Более того, ряд причин дает основание полагать, что новые черты таких теорий могут оказаться полезными при рассмотрении процессов, протекающих при очень высоких энергиях и на очень малых расстояниях. Такими причинами являются следующие:

1) Если существует субквантовомеханический уровень, то, как мы видели в § 2, процессы, характеризующиеся очень большой энергией и очень большой частотой, могут протекать быстрее, чем процессы, проходящие на более низком уровне. В таких случаях стали бы существенными детали, касающиеся более низкого уровня, а современная формулировка квантовой теории оказалась бы несостоятельной.

Например, с нашей точки зрения, «рождение» частиц, например мезона, является вполне определенным процессом, происходящим на субквантовомеханическом уровне. При этом процессе энергия поля сосредоточена в некоторой конечной области пространства, а «уничтожение» частицы является как раз обратным процессом, в котором энергия принимает другую форму. В квантовой области мелкие детали этого процесса не являются существенными и поэтому ими можно пренебречь. Фактически «рождение» и «уничтожение» частиц в современной квантовой теории рассматривается как «появление» и «исчезновение» частиц, что не позволяет рассматривать детали процессов¹. Однако при быстрых процессах

¹ Это достигается математически с помощью так называемых операторов рождения и уничтожения частиц, которые описывают появление данного рода частицы в некотором состоянии с помощью простого утверждения, что число таких частиц увеличилось на единицу, а исчезновение описывается с помощью утверждения о том, что их число уменьшилось на единицу.

с очень высокой энергией результаты могут сильно зависеть от этих деталей, а если это так, то современная квантовая теория не пригодна для изучения таких процессов.

2) Рассмотрение квантовой теории поля Дирака с точки зрения нашей теории приводит, как мы видели выше, к возможности описания различных полей как различных видов возбуждения одного основного поля. Более того, для процессов с очень большой энергией приближение, дающее обычную форму квантовой теории, оказалось бы несостоятельным. Это могло бы повлечь за собой полезные следствия; из современной квантовой теории можно было бы исключить бесконечные величины, потому что в нашей теории, строго говоря, нельзя получить бесконечных результатов. Таким образом, мы пришли к истолкованию бесконечностей как следствий необоснованного распространения всех положений современной квантовой теории на очень малые длины и очень высокие энергии.

Можно видеть, что предположение о том, что обычная форма квантовой теории будет оставаться верной в области высоких энергий, эквивалентно предположению об отсутствии субквантовомеханических уровней, или по крайней мере, если такой уровень и имеется, то в рассматриваемых процессах его влияние еще незначительно. Возможно, что это предположение окажется верным. Но достаточно большое количество фактов говорит в пользу следующего альтернативного предположения: в дальнейшем при проведении любых исследований в области теоретической физики нет оснований ограничиваться направлениями, представляющими собой развитие обычной интерпретации квантовой теории.

§ 9. Иные интерпретации квантовой теории и философия механицизма

Рассмотрение в настоящей главе иной интерпретации квантовой механики показывает, что, когда мы освобождаем теорию от излишней и необоснованной гипотезы об абсолютной и окончательной справедливости принципа индетерминированности, перед нами открывается новая важная линия развития, которая подрубает корни всей механистической философии, так как теперь мы ви-

дим, что существует целый уровень, на котором случайные флуктуации являются неотъемлемой частью способа бытия вещей, так что они должны существенным образом войти в содержание теории. Таким образом, мы вынуждены существенно выйти за рамки классического понятия случайности, представляющего собой лишь действие несущественных факторов, которые видоизменяют граничные условия или вводят неупорядоченно флуктуирующие внешние силы непредсказуемым в рамках рассматриваемого круга явлений образом, но которые не влияют существенно на формулировку основных законов, применимых внутри такого круга явлений.

Однако, если бы мы остановились на этой точке зрения, мы должны бы были, как видно из предыдущей главы, просто переключиться с детерминистического механицизма на индетерминистический. Для того чтобы избежать индетерминистического механицизма, мы должны предположить, что случайные флуктуации в свою очередь вытекают из чего-то еще. Как ясно показали Гейзенберг и Бор, в квантовой области не может существовать ничего такого, из чего могли бы возникнуть эти флуктуации. Поэтому для установления их происхождения мы должны перейти в некоторую новую область. Как мы видели в настоящей главе, имеется сильный довод, дающий основание признать правдоподобие предположения о том, что они возникают на субквантовомеханическом уровне. Тем не менее независимо от сделанных нами конкретных предложений с точки зрения вопроса о механицизме существенно, что флуктуации должны быть обусловлены качественно новыми видами факторов, существующими в новой области.

В пределах описанной выше области мы, естественно, ожидали бы, что имеют место новые виды законов, действие которых может включать действие новых видов причинных законов, а также и новых видов законов случая. Конечно, если только предположить, что эти новые законы наверняка являются лишь чисто причинными законами, мы опять вернемся обратно к детерминистическому механицизму, в то время как аналогичное предположение о том, что они наверняка являются лишь законами вероятности, отбрасывает нас назад к индетерминистическому механицизму. С другой стороны, в своих предположениях, выдвинутых в настоящей главе, мы

обходим обе эти догматические и произвольные крайности, поскольку мы рассматривали по мере требований ситуации возможность наличия новых черт и у причинных законов («квантовая сила», не проявляющаяся на более высоких уровнях), и у законов случая (неупорядоченные флуктуации, возникающие на субквантовомеханическом уровне).

Конечно, как мы указали в § 5, мы не рассматриваем наших более ранних предложений, предусматривающих полностью удовлетворительное и определенное истолкование законов квантовой области. Основная причина в известном смысле заключается в том, что рассмотренные в теории фундаментальные понятия (взаимодействующие волны и частицы), все еще, весьма вероятно, слишком близкие к фундаментальным понятиям, применяющимся в классической области, соответствуют совершенно новой области, такой, которая рассматривается в квантовой теории. Действительно, всякая попытка понять квантовую теорию с помощью моделей, близких к моделям квантовой области, часто критиковалась как механистическая. Эта критика была бы правильной, если бы мы собирались этим ограничиться. С другой стороны, если просто рассматривать эти теории как некую удобную исходную точку, то такая критика наверняка не была бы справедливой.

Здесь важно добавить, что имеются веские доводы в пользу того, что временное рассмотрение механистического объяснения квантовой теории может служить хорошим исходным пунктом для качественного нового развития теории, которое, видимо, должно произойти.

Во-первых, следует напомнить, что механистические теории часто вводят качественно новые свойства. Так, например, когда вступает во взаимодействие большое количество простых механистических элементов, возникают фундаментально новые виды коллективных эффектов (например, крупномасштабные свойства совокупностей атомов). Таким образом, мы можем ожидать, что использование старых механистических понятий для объяснения нового круга явлений приведет, видимо, к некоторым качественно новым результатам.

Во-вторых, в результате тщательного рассмотрения противоречий и слабых мест данной механистической

теории часто могут быть созданы новые понятия, которые разрешают эти противоречия или устраняют слабые места. Так, тщательный анализ механической теории электронов, проведенный Лорентцем, очень сильно способствовал возникновению теории относительности, которая разрешила многие трудности, возникшие в теории Лорентца. В § 6 мы изложили попытки устранения слабых мест в нашей первоначальной интерпретации, которые также открывают возможность значительных изменений первоначальной концепции.

В-третьих, настаивать на том, что, раз мы переступили границу классической области, механические понятия являются вовсе абсолютно непригодными, было бы столь догматично, как и настаивать на том, что эти понятия должны быть годны для каждой области, которая будет когда-либо исследована.

Лучше всего попытаться использовать каждый вид понятия, который мы можем себе представить, и посмотреть, какой из них будет наилучшим в каждой конкретной области.

Тогда изложенные в этой главе результаты исследования показывают, что механические представления могут быть лучше применимы в квантовой области, чем это до сих пор предполагалось.

Наконец, важно подчеркнуть значение выбора в качестве исходного пункта некоторой конкретной теории и дальнейшую ее разработку. Без такого конкретного исходного пункта критика современных теорий, весьма вероятно, в течение длительного времени будет бесплодной, так как крайне трудно из чисто общих рассуждений прийти к качественно новым идеям. Таким образом, практически такая критика, не сопровождаемая новыми конкретными предложениями, видимо, не даст фактически иной интерпретации, а заставит продолжать работу по обычным направлениям и надеяться, что новые экспериментальные успехи или новая удачная или блестящая теоретическая интуиция в конце концов приведут к новой теории. С другой стороны ставить дальнейший прогресс в этой области в зависимость только от эксперимента или случайной надежды на новые интуитивные достижения означает отказ от одной из важнейших функций критики, а именно функции помощи в отыскании иных определенных направле-

ний исследования, которые могут привести к правильному направлению. И, как мы указали здесь, имеется веское основание полагать, что конкретные предложения, указанные в настоящей главе, могут помочь достижению цели.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Furth R. в «Zeits. f. Phys.», 81, 143 (1933).
2. de Broglie L. в «Compt. Rend.», 183, 447 (1926); 185, 380 (1927).
3. Madelung E. в «Zeits. f. Phys.», 40, 332 (1926).
4. «Reports on the Solvay Congress», Gauthier-Villars, Paris (1928), p. 280.
5. de Broglie L., The Revolution in Physics, Routledge and Kegan Paul, London, 1954.
6. Я. П. Терлецкий «Вопросы философии», № 3, 228, 1948; № 5, 51, 1951; Д. И. Блохинцев, У. Ф. Н., 45, № 2, 195, 1951. См. также Д. И. Блохинцев, Основы квантовой механики, Гостехиздат, 1949.
7. Bohm D., в «Phys. Rev.», 85, 166 (1952)*.
8. Bohm D., в «Phys. Rev.», 85, 166 (1952)*.
9. Предложения Вижье рассмотрены в книге L. de Broglie, La Physique Quantique Resterait-elle Indeterministe, Gauthier-Villars, Paris (1953)*.
10. Bohm D. в «Progr. Theor. Physics», 9, 273 (1953).
11. Bohm D., Viger J. P. в «Phys. Rev.», 96, 208 (1954).
12. Bohm D., Schiller R., Tiomno J. в «Supplemento al Nuovo Cimento», I, Serie X, 48 (1953).
13. Takabayasi T. в «Progr. Theor. Physics», 8, 143 (1952); 9, 187 (1953).
14. Fenyés I., в «Zeits. f. Physik», 132, 81 (1952)*.
15. Weizel W. в «Zeits. f. Physik», 134, 264 (1953); 135, 270 (1953).
16. Fukada, Miyamoto, Tomonaga в «Progr. Theor. Physics», 4, 47, 121 (1949).
17. Schwinger J. в «Phys. Rev.», 74, 749, 769 (1949); 80, 440 (1950).
18. Feynman R. P., в «Phys. Rev.», 75, 486, 1736 (1949).

* Русский перевод этих статей см. в сборнике «Вопросы причинности в квантовой механике», ИЛ., Москва, 1955.

Г л а в а V

БОЛЕЕ ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАКОНЕ

§ 1. Введение

Мы видели, что через всю книгу проходит идея о том, что в течение нескольких столетий существовало сильное стремление к той или иной форме механицизма, которого вообще придерживались физики. В главах II и III мы до некоторой степени детально описали существенные черты этой философии и дали общий очерк развития этой философии, которое произошло под влиянием новых проблем, с которыми сталкивалась физика в течение XIX и XX в. В настоящей главе мы подвергнем эту философию критике, покажем слабость ее основных положений, а затем снова перейдем к изложению отличной и более всеобъемлющей точки зрения, которая, по нашему убеждению, больше чем механицизм соответствует смыслу научного исследования в большей области явлений. Кроме подробного изложения этой более всеобъемлющей точки зрения, мы покажем также, как, исходя из нее, можно более удовлетворительно решить некоторые важные проблемы — как научные, так и философские, — чем это возможно в рамках механистической философии.

§ 2. Краткое изложение существенных характерных черт механистической философии

Существенными характерными чертами механистической философии в наиболее общей форме, которая проявлялась до настоящего времени в физике, являются следующие.

Огромное разнообразие вещей, обнаруживаемых в мире как в процессе повседневного опыта, так и в процессе научного исследования, может быть сведено полностью, абсолютно и безусловно (то есть без приближений в каждой возможной области) лишь к действиям некоторой определенной и ограниченной общей системы законов. В то время как допускается, что детали этих законов могут быть изменены в соответствии с новыми экспериментальными результатами, которые могут быть получены в будущем, ее основные общие черты рассматриваются как абсолютные и окончательные. Это означает, что фундаментальные сущности, которые считаются существующими, виды, качества, определяющие способы бытия этих сущностей, и общие соотношения, через которые выражаются основные законы, предполагаются укладывающимися в некоторую фиксированную, ограниченную физически и математически схему, которой в принципе можно было бы дать полную и исчерпывающую формулировку, если, конечно, не предполагается, что это уже сделано. В конечном счете утверждается, что в пределах схемы возможны лишь количественные изменения параметров или функций, определяющих состояние системы (в той степени, в какой природа системы позволяет определить состояние)¹, в то время как фундаментальные качественные изменения способов бытия основных сущностей и форм выражения основных законов считаются невозможными. Таким образом, суть механистической позиции заключается в таком предположении о наличии фиксированных основных качеств, которое означает, что законы как таковые в конечном счете будут сводиться к чисто количественным соотношениям.

Как мы видели в предыдущих главах, философия механицизма претерпела большую эволюцию в ее конкретной форме, сохраняя все описанные выше существенные характеристики в форме, которая, однако, стремится стать все более сложной и тонкой по мере дальнейшего развития науки.

¹ Например, в обычной интерпретации квантовой теории состояние системы определяется, вообще говоря, лишь статистически.

§ 3. Критика философии механицизма

Сейчас мы сделаем обзор некоторых из наиболее важных критических замечаний по адресу философии механицизма.

Во-первых, историческое развитие физики не подтверждало основные положения этой философии, все время противоречило им. Так, со времен Ньютона в структуру физических понятий¹, рассмотренную в главе II, были внесены не только целый ряд конкретных изменений, но также и революционные изменения в общую схему, которые были вызваны теорией относительности и квантовой теорией². Причем в настоящее время физика столкнулась с кризисом, следствием которого могут быть дальнейшие изменения, которые будут столь же революционными по сравнению с теорией относительности и квантовой теорией, сколь эти теории революционны по сравнению с классической физикой.

Во-вторых, механистические предположения об абсолютном и окончательном характере любой черты наших теорий не являются необходимыми, так как всегда имеется возможность, что такая черта справедлива лишь относительно и ограничено и что пределы справедливости могут быть определены в будущем. Так, было найдено, что ньютоновские законы движения, рассматривавшиеся на протяжении более чем двухсот лет, в конечном счете имеют ограниченную справедливость; эти пределы были окончательно установлены с помощью квантовой теории и теории относительности. Действительно, как мы более подробно видели в главе II, § 13 и 15, механистический тезис о том, что некоторые черты наших теорий являются абсолютными и законченными, является предположением, не подлежащим какому-либо мыслимому виду экспериментального доказательства, поэтому он в лучшем случае имеет философский характер.

В-третьих, предположение об абсолютном и окончательном характере любой черты наших теорий противо-

¹ Понятия поля, понятия количественных изменений, которые приводят к качественным изменениям, понятия случайности и статистического закона.

² Эти изменения, особенно внесенные квантовой теорией, рассмотрены главным образом в главах III и IV.

речат основному духу научного метода как такового, который требует, чтобы *каждая* черта подлежала непрерывному испытанию и проверке, которые могут обнаружить противоречия всегда, когда мы переходим в новую область или к более строгому изучению уже известных областей. Действительно, в каждой без исключения изученной до настоящего времени области науки имеется бесконечное множество таких противоречий, каждое из которых приводило к новой теории, позволяющей лучше и глубже понять исследуемые явления. Таким образом, полное и последовательное применение научного метода лишь тогда имеет смысл, когда мы воздерживаемся от предположения об абсолютном и окончательном характере любой черты любой теории и отказываемся, следовательно, от механистической философии.

Конечно, вышеприведенные аргументы еще не доказывают явной несостоятельности механистической философии, так как в принципе мы всегда можем стремиться к истинно абсолютной и окончательной теории, и мы можем полагать, что эта теория скрывается где-то за пределами современного научного исследования. С другой стороны, исторически вплоть до настоящего времени доказанная несостоятельность этой философии, невозможность доказательства ее основных положений и полное расхождение их с духом научного метода могли бы заставить нас думать, что стоит принять точки зрения, выходящие за пределы механистической философии. Развитием этой точки зрения мы и займемся в оставшейся части настоящей главы.

§ 4. Точка зрения, выходящая за рамки механицизма

Сущность точки зрения, выходящей за рамки механицизма и лучше, чем механицизм, согласующейся с общим научным опытом и с нуждами научного исследования уже изложена в главе I, § 10 и главе II, § 15 в связи с крайне богатой и многообразной структурой известных на сегодня законов природы. Наиболее существенная черта, характерная для этой общей структуры, заключается в следующем. Любая данная совокупность качеств и свойств материи и категорий законов, которые

выражаются через эти качества и свойства, вообще говоря, применима лишь внутри ограниченного круга явлений, в ограниченной области условий и с ограниченной степенью приближения, причем эти пределы в ходе дальнейшего научного исследования определяются все точнее и точнее. Конечно, и сам характер эмпирических данных, и результаты более детального логического анализа показывают, что вне вышеупомянутых ограничений справедливости данной теории всегда открываются возможности существования неограниченного множества дополнительных свойств, качеств, сущностей, систем, уровней и т. д., к которым соответственно применимы новые виды законов природы. Или, объединяя все вышеупомянутые различные возможности в единую категорию «вещей», мы видим, что систематический и последовательный анализ, которому мы можем подвергнуть фактически экспериментальные данные и данные наблюдений, приводит нас к представлению о существовании в природе бесчисленного множества различных видов вещей.

Ясно, что эта точка зрения полностью выходит за рамки рассмотрения механистической философии, так как мы напомним, что механистическая точка зрения включает предположение об ограниченности возможного множества основных свойств и качеств, существующих в природе, которые вытекают из все большего или более многочисленного конечного числа видов вещей. Причем ясно также, что представление, к которому мы пришли, совершенно отлично от представления о ряде последовательных приближений, сходящихся к некоторой фиксированной и ограниченной совокупности конечных законов, так как не очевидно, почему новые качества и свойства и соответствующие новые законы должны *всегда* приводить именно ко все меньшим и меньшим поправкам, просто и равномерно сходящимся к определенным результатам. Это может случаться в некоторых кругах явлений и в определенной области условий. Тем не менее принципиально нельзя эмпирически оправдать исключение возможности того, что в различных кругах явлений или при изменении условий эти новые качества, свойства и законы приведут к действиям, которые не являются малыми по сравнению с действиями, вытекающими из ранее известных свойств, качеств и законов.

Так, например, законы теории относительности и квантовой теории приводят, действительно, при конкретных условиях к малым поправкам к законам ньютоновской механики, но они, как хорошо известно, приводят, говоря в более широком плане, к качественно новым результатам огромной значимости, результатам, которые вовсе не содержатся в ньютоновской механике¹. Очевидно, та же возможность необходимо существует и для любых других новых законов, которые могут в конце концов быть открыты. Поэтому предположение, что законы природы составляют бесконечную последовательность все меньших и меньших шагов, приближающих по существу к механистическому пределу, является произвольным и недоказуемым, как и предположение, что конечная совокупность законов позволяет исчерпывающим образом рассмотреть всю природу.

Тогда мы видим, что, поскольку рассматриваются эмпирические научные данные как таковые, они вовсе не могут оправдать никакие априорные ограничения характера либо относительной важности различных условий или кругов явлений, неисчерпаемо богатых и многообразных качеств и свойств, которые могут существовать в природе. Такие качества и свойства, которые всегда могут быть, так сказать, скрыты за ошибками и несостоятельностью любой совокупности теорий, могут быть раскрыты и позднее с помощью исследований в новых условиях, в новом круге явлений или с новой степенью приближения.

Пока анализ характера эмпирических данных и научных теорий привел нас лишь к рассмотрению *возможности* наличия в природе бесконечного множества потенциально и действительно существенных качеств (то есть качеств, которые имеют главное значение или которые могут приобрести главное значение при соответствующих условиях или в соответствующем круге явлений). Однако теперь ясно, что имеются две возможные постановки этой проблемы. Либо число качеств, имеющих значение этого рода, ограничено, либо неограниченно. Предположить первое — это значит в сущности вернуться к той или иной форме механистической философии,

¹ Например, «энергии покоя» вещества, стабильности атомов и т. д.

что может вызвать, как мы видели, много возражений. Если мы желаем выйти за рамки механистической философии, мы фактически имеем лишь один выбор, а именно мы должны рассмотреть следствия, вытекающие из предположения о неограниченности числа таких существенных качеств.

Таким образом, мы вынуждены выяснить, в чем состоит первый решающий шаг к достижению точки зрения, выходящей за рамки механистической философии. С другой стороны, на данной стадии анализа эта точка зрения представляет собой одну из двух возможных альтернатив: либо механицизм, либо бесконечное множество потенциально или действительно существенных качеств. Конечно, мы должны выбрать либо одну, либо другую. Но на каком основании мы можем сделать такой выбор? Для того чтобы ответить на этот вопрос, мы укажем, что положение о качественной бесконечности природы означает больше, чем простое противопоставление этого положения философии механицизма, если мы при ограничении области применимости любой данной теории учтем роль условий, круга явлений и степень приближения, так как при этом дополнении она составляет более широкую точку зрения в том смысле, что она содержит в себе все те следствия механицизма, которые представляют собой подлинный вклад в прогресс научного исследования, тогда как он не содержит в себе следствий, которые таким вкладом не являются и тормозят научное исследование. Чтобы убедиться в этом, мы отметим, что по отношению к заданной области явлений конкретная форма предположения о качественной бесконечности природы, которая была выдвинута выше, не противоречит представлению о том, что эти явления можно рассматривать с помощью конечной совокупности качеств и законов и, конечно, с помощью меньшего количества, чем число доступных эмпирических данных. Очевидно, что если это невозможно, то утрачивается одно из наиболее важных научных достижений, так как это более не позволило бы проводить объяснение¹ и предсказание большого количества с первого

¹ Напомним, что, как указано в главе I, § 3, объяснение представляет собой показ того, что определенные вещи необходимо следуют из других.

взгляда независимых явлений на базе относительно небольшого количества общих качеств, свойств, законов, принципов и т. д. Сознание этой возможности и ее практическое использование в широкой области отраслей было действительно основным вкладом, который был внесен механистической философией в науку на ранних стадиях ее развития¹. Однако, как мы видели, коль скоро мы определяем наши теории, конкретизируя круг явлений, условия и степени приближения, для которых они применимы, или по крайней мере допуская, что эти ограничения их справедливости должны быть в конце концов обнаружены, то представление о качественной бесконечности природы диктует необходимость принятия дополнительных мер предосторожности, поскольку оно означает, что в конечном счете (но когда мы должны определить только эмпирически) любые ограниченные количества качеств, свойств и законов окажутся несостоятельными. Тогда мы видим, что ни один из действительно хорошо обоснованных выводов, который может быть получен с помощью предположения о том, что число качеств, конечно, не потеряет своего значения, если предположим, что число таких качеств бесконечно, и в то же время поймем роль круга явлений, условий и степеней приближения², мы можем лишь утратить иллюзию о том, что у нас имеются основания для предположения существования принципиальной способности предсказать все, что существует во вселенной в любом круге явлений и при всех возможных условиях.

Если мы примем представление о качественной бесконечности природы в приведенной выше конкретной форме, то действительное значение не только не страдает, но, наоборот, может много выиграть, ибо, во-первых, мы можем этим освободить научное исследование от излишних ограничений, которые, видимо,

¹ См., например, главу II, § 3.

² Поняв, что конечное и, вообще говоря, ограниченное число качеств, свойств и законов может быть справедливо для заданных кругов явлений, условия или степени приближения, мы избегаем простого возвращения к произвольному увеличению качеств, что характерно для домеханистической точки зрения, особенно для схоластической формы аристотелевской философии, господствовавшей в средние века.

вытекают (и которые зачастую фактически вытекают) из предположения, что любая конкретная совокупность общих свойств, качеств и законов должна быть исправлена, чтобы быть применимой при всех возможных условиях и с любой возможной степенью приближения. Во-вторых, мы пришли к представлению о природе вещей, находящееся в полном согласии с наиболее основными и существенными характеристиками научного метода: с необходимостью непрерывной проверки, критики и испытания каждой черты каждой теории, независимо от того, сколь фундаментальной выглядит теория, так как эта точка зрения разъясняет необходимость проведения научного исследования именно таким путем и никаким иным, поскольку если качествам в природе нет конца, то нет конца необходимости в проверке и испытании всех черт всех ее законов. Наконец, как мы увидели в оставшейся части настоящей главы, предположение о качественной бесконечности природы приводит к гораздо более удовлетворительному решению ряда важных проблем, как научных, так и философских, чем это возможно в рамках механистической философии; и это в свою очередь является еще одним доводом в пользу того, что оно является более удобной точкой зрения, из которой должно исходить научное исследование.

Тогда в итоге представление о качественной бесконечности природы позволяет нам сохранить все положительные достижения механицизма. Кроме того, оно позволяет нам выйти за рамки механицизма, указывает границы этой философии и новые направления, по которым могут развиваться наши понятия и теории. Естественно, мы не хотим сказать, что представление о качественной бесконечности природы является окончательной доктриной, дальше которой уже никогда пойти не удастся. Действительно, весьма вероятно, что по мере прогресса науки в конечном счете будет обнаружено соответствие представления о качественной бесконечности природы с еще более общей точкой зрения, которая в свою очередь сохраняет ее положительные достижения и которая выходит за их рамки, так же как представление о качественной бесконечности природы выходит за рамки механицизма. Но в этой главе мы лишь собираемся обратить внимание на большое число факторов, которые

обуславливают необходимость этого важного шага, выходящего за пределы механистической философии, и показывает многочисленные преимущества, вытекающие из этого шага.

§ 5. Более детальное изложение вопроса о качественной бесконечности природы

В настоящем параграфе мы более детально изложим общую точку зрения, заключающуюся в представлении о качественной бесконечности природы, и покажем, как эта точка зрения согласуется с фактическими результатами.

Чтобы наши рассуждения были более или менее конкретными, мы начнем с конкретного примера, а именно с атомистической теории материи. Как хорошо известно, самые ранние формы атомистической теории были основаны на предположении об ограниченности числа элементарных качеств и свойств, определяющих способы бытия атомов. С другой стороны, как мы не однократно указывали, более глубокое изучение атома обнаруживало все больше и больше деталей движущейся подструктуры, которая характеризовалась богатством свойств и качеств, в свою очередь никогда не выступавших исчерпанными или приближающимися к исчерпанию. Так, было обнаружено, что атомы состоят из электронов, движущихся вокруг центрального ядра, состоящего из протонов и нейтронов, которые в свою очередь принимают участие в дополнительных характерных для них видах движения. Все эти движения претерпевают квантовомеханические флуктуации различного рода. Затем была открыта пока еще плохо понятая структура электронов и протонов, которые представляют собой движения нестабильных частиц, например мезонов и гиперонов. Еще позднее было понято, что, поскольку эти последние частицы могут «рождаться», «уничтожаться» или превращаться друг в друга, весьма вероятно, что они также имеют структуру, связанную с движением еще более глубоких сущностей, природа которых пока не известна.

Существенной характеристикой богатой и тесно взаимосвязанной подструктуры описанных выше движущихся частиц является не только непрерывность

качественных свойств, но и возможность фундаментального изменения качеств, определяющих их способ существования при достаточно значительном изменении условий. Так, в электрическом разряде атомы могут возбуждаться и ионизироваться, после чего они приобретают много новых физических и химических свойств. При бомбардировке частицами очень высокой энергии ядра различных химических элементов могут возбуждаться и превращаться в новые виды ядер, испытывая даже более коренные изменения своих физических и химических свойств. Причем в ядерных процессах нейтроны могут превращаться в протоны путем испускания либо электронов и нейтрино, либо мезонов; и, конечно, как мы видели, мезоны являются нестабильными, так что самый их способ бытия предполагает превращение их в существенно различные виды частиц. Таким образом, дальнейшее изучение строения материи не только обнаружило неограниченное множество качеств, процессов и отношений, но также и показало, что все эти вещи подвержены фундаментальным превращениям, зависящим от условий.

Пока мы стремились подчеркнуть неисчерпаемую *глубину* свойств и качеств материи. Другими словами, мы рассмотрели, как на основе экспериментов обнаруживалось внутри уровня существование уровней видов все меньших и меньших сущностей, каждое из которых помогает установить внутреннюю подструктуру вышеупомянутых сущностей согласно их размерам и объяснить, по крайней мере приближенно, путем рассмотрения их движений, как и почему качества вышеупомянутых сущностей в определенных условиях являются тем, что они есть, а также как и почему они могут изменяться фундаментальным образом при изменении условий. Но теперь мы должны учесть зависимость основных качеств и свойств каждого вида сущности не только от их внутренней структуры, но и от процессов, происходящих в их общем внешнем фоне. В физике исследование пока не стремится подчеркнуть эту черту законов природы, так же сильно, как оно подчеркивало наличие внутренней структуры. Тем не менее различные поля (например, электромагнитное, гравитационное, мезонное и т. д.), введенные в структуру физических понятий, представляют до некоторой степени признание важности

внешнего фона, так как мы видели, что эти поля (чей способ бытия требует определения их в широких областях пространства) входят в определение основных характеристик всех фундаментальных частиц современной физики. Причем, при сильном возбуждении такие поля также могут вызывать качественные превращения частиц, а частицы в свою очередь влияют на характер полей. Действительно, рассмотрение квантовой теории, приведенное в главах III и IV, показывает, что поля и частицы тесно связаны между собой даже более глубоким образом в том смысле, что они являются, видимо, разными сторонами еще более общего типа сущности, детальный характер которой еще предстоит открыть¹. Таким образом, в физике вполне может быть показана несостоятельность простой процедуры простого перехода от уровня к уровню все меньших и меньших частиц, может быть, связанных с полями, которые с ними взаимодействуют. Напротив, мы можем обнаружить, что внешний фон является существенным элементом даже в определении условий существования новых видов основных сущностей, к которым мы в конечном счете придем независимо от того, чем они могут оказаться. Таким образом, мы можем придти к теории, в которой внутренняя структура и внешний фон будут более тесно связаны в единое целое, чем это характерно для современных теорий.

Из вышеприведенного рассмотрения мы видим, что качественная бесконечность природы не эквивалентна представлению, которое выражается известным стихотворением:

«На спинах блох блошата есть;
Кусают блох они там.
Блошонок у блошат не счесть —
И так *ad infinitum*».

Во-первых, мы не предполагаем, что та же схема вещей необходимо должна повторяться на всех уровнях; и, во-вторых, мы не предполагаем даже того, что общая схема уровней, которая пока широко проявляется

¹ Это мы можем предположить на основе волново-корпускулярного дуализма основных свойств материи, который означает, как мы видели, что мы можем иметь дело с некоторым новым видом вещи, которая может в соответствующей обстановке действовать либо как локализованная частица, либо как непрерывное поле.

в природе, необходимо должна продолжаться без конца. Хотя мы не можем ответить на этот вопрос, исходя из того, что мы в настоящее время знаем, мы уже можем догадываться о причинах нашего возможного продвижения к точке зрения, при которой понятия уровней будут по крайней мере обогащены явным включением действий фона, что характерно для самого наличия сущностей, через которые должны будут выражаться наши теории. Причем очевидно, что по мере еще более глубокого проникновения обнаружим, что характер устройства вещей на уровнях изменится столь фундаментально, что даже сама схема уровней в конце концов постепенно исчезнет и будет заменена чем-нибудь совершенно иным. Следовательно, тогда как качественная бесконечность природы согласуется с бесконечностью уровней, она не обязательно предполагает такую бесконечность. И, вообще говоря, это представление не требует априорного продолжения любой конкретной особенности пока найденной общей схемы вещей, не исключает априорной возможности того, что такая особенность может встречаться и в дальнейшем, может быть, в новом круге явлений и в новых формах независимо от того, сколь далеко мы пойдем. Такие вопросы могут быть поставлены в полном объеме лишь на основе результатов будущего научного исследования.

Однако с этой точки зрения мы можем сделать лишь одно общее заявление о неисчерпаемом разнообразии вещей, которые могут существовать во вселенной, а именно что способы их бытия должны быть до некоторой степени автономны и стабильны. Пока мы всегда находим, что такая автономия существует¹. Действительно, если бы она не существовала, то мы не могли

¹ Эта независимость может иметь много источников, например уменьшение влияния одной вещи на другую при увеличении расстояния между ними, исчезновение такого влияния с течением времени, электрическая экранировка, существование порогов, которые не могут быть преодолены слишком слабыми для этого влияниями; малый размер отдельных составных частей предмета (например, атомов), для того чтобы они оказывали в целом на предмет заметное действие, в то время как для коллектива существует значительная независимость движений составных частей, что приводит к взаимной компенсации случайных флуктуаций. Существует много других источников автономии, и несомненно, что в будущем их будет обнаружено еще больше.

бы применять понятие «вещи» и не смогли бы даже сформулировать никакого закона природы, ибо как мог бы существовать предмет, сущность, процесс, качество, свойство, система, уровень или что-нибудь еще, о чем мы хотели бы упомянуть, если бы способ существования такой вещи не был до некоторой степени стабилен и автономен, что позволяло бы ему сохраняться в течение некоторого времени и отличаться от других вещей? Если бы такие сравнительно и относительно автономные вещи не существовали, то законы утратили бы свое существенное значение (например, нельзя было бы экспериментально проверить, сохраняются ли они при изменении условий так, как это описано в главе I, § 3, потому что основные вещи, описываемые законами, изменили бы все свои характерные способы бытия при малейшем изменении условий).

В заключение отметим, что до сих пор действительное научное исследование требовало анализа природы в рамках понятий, которые означают признание существования все большего и большего количества видов вещей; и развитие таких новых понятий никогда не обнаруживало никаких признаков приближения к концу. До настоящего времени было обнаружено, по крайней мере при исследованиях в области физики, что различные существующие в природе виды вещей распределены по уровням. Каждый уровень входит во внутреннюю структуру более высоких уровней, и, наоборот, его свойства зависят от условий внешнего фона, определяемого частично на других уровнях, как более высоких, так и более низких, а частично на том же уровне. Конечно, вполне возможно, что дальнейшее изучение даст еще более общую схему организации вещей. В любом случае ясно, что результаты научного исследования вполне подтверждают представление о том, что качества или свойства природы, которые она может иметь или проявлять, неисчерпаемы. Однако если законы природы вообще должны быть выражены через что-нибудь, то необходимо, чтобы вещи, на которые она может быть разложена, имели по крайней мере до некоторой степени приближенную и относительную самостоятельность своего способа существования, который сохраняется в некоторой области изменения условий их существования,

§ 6. *Случайные и необходимые причинные взаимосвязи*

Исходя из точки зрения на мир, изложенной в § 5, мы теперь попытаемся показать, что гипотеза о качественной бесконечности природы предусматривает существование рамок, в которых представление, выдвинутое в главе I, о случайных и необходимых причинных взаимосвязях как о двух сторонах всякого реального процесса может быть вполне естественным.

Прежде всего, мы укажем, что, если в природе имеется неограниченное количество видов вещей, никакая система чисто детерминистских законов не может быть абсолютно справедливой, так как каждая такая система верна лишь для конечного числа видов вещей и, следовательно, не учитывает бесчисленного множества факторов как во внутренней структуре основных сущностей, входящих в систему рассматриваемых законов, так и в общем окружении, в котором присутствуют эти сущности. И, поскольку эти факторы обладают некоторой степенью самостоятельности, из принципа, рассмотренного в главе I, § 8, можно заключить, что вещи, которые не охватываются любой такой системой теории, вообще говоря, претерпевают произвольные флуктуации некоторого рода. Следовательно, определения любой чисто причинной теории всегда подвержены произвольным нарушениям, возникающим из случайных флуктуаций сущностей, присутствующих вне круга действия рассматриваемой теории. Отсюда становится ясно, почему случайность является существенной стороной любого реального процесса и почему любая конкретная система причинных законов представляет собой лишь частное и одностороннее рассмотрение этого процесса, которое должно быть исправлено с помощью учета случайности¹.

Конечно, нельзя предполагать, что любая неточность или несостоятельность причинных законов должна быть

¹ Вообще говоря, причинные законы должны быть исправлены путем учета несущественных факторов (см. главу I, § 8), несмотря на сложный, многозначный и взаимосвязанный характер этих несущественных факторов, их усредненное действие в широкой области условий может быть, однако, рассмотрено с помощью случайных флуктуаций и теории вероятностей.

обязательно вызвана действиями случайных флуктуаций. Действительно, как это случилось в связи с экспериментами, приведшими к теории относительности (эксперимент Майкельсона—Морли и т. д.), недостаточность данной системы причинных законов может проявляться как простое и воспроизводимое расхождение предсказаний, сделанных на основе этих законов, с экспериментальными результатами. Расхождение этого рода означает лишь то, что рассматриваемые причинные законы должны быть заменены более новыми, более широкими и более точными причинными законами (как это в действительности произошло с ньютоновской механикой, которая была заменена более общей и более правильной релятивистской механикой). Однако очень часто эксперименты обнаруживали не только простые и воспроизводимые расхождения с предсказаниями на основе определенной системы причинных законов, а крах всей схемы, в которой конкретный набор свойств однозначно и необходимо связан с системой причинных законов данного общего вида. Такой крах обнаруживается в появлении случайных флуктуаций, возникающих не внутри рассматриваемого круга явлений, а скорее вытекающих из качественно отличных видов факторов, присутствующих в круге явлений, которые являются новыми по сравнению с рассматриваемыми¹. В таком случае видно, что первоначальный причинный закон справедлив лишь постольку, поскольку взаимно компенсируются рассматриваемые случайные флуктуации, тогда как в любом данном применении закон будет иметь определенную характерную минимальную область ошибки. Область ошибки является объективным свойством рассматриваемого закона, свойством, которое определяется величинами случайных флуктуаций, возникающих вне исследуемого круга явлений.

Однако, наоборот, характерное ограничение области справедливости любого заданного причинного закона, которое является следствием пренебрежения действием

¹ Это случилось, например, в классической физике. Рассмотрение орбиты движения электрона в качестве классической возможно лишь с определенным приближением, и при более полном рассмотрении обнаруживается, что он испытывает при своем движении произвольные флуктуации, возникающие вне круга явлений классического уровня (см. главы III и IV).

случайных флуктуаций, уравнивается при соответствующем ограничении области справедливости любого данного случайного закона, которое является следствием систематических причинных взаимосвязей между различными кругами явлений. Во многих случаях (например, при бросаниях кости) эти взаимосвязи столь незначительны, что для реальных приложений ими можно пренебречь. Тем не менее это не всегда бывает так. Рассмотрим, например, случай страховой статистики. В данном случае можно приближенно предсказывать среднюю продолжительность жизни индивидуума данной группы (например, группы определенного возраста, роста, веса и т. д.) без необходимости детального исследования множества сложных факторов, от которых до некоторой степени зависят жизнь или смерть каждого индивидуума этой группы. Это возможно лишь потому, что факторы, которые ведут к смерти любого индивидуума, крайне многообразны и различны, и потому, что их действия происходят более или менее независимо, так, что это приводит к повторяющимся статистическим законам¹. Но предположение, лежащее в основе использования этих статистических законов, не всегда является правильным. Так, в случае эпидемии или войны систематические взаимосвязи между причинами смерти различных индивидуумов столь сильны, что статистические предсказания любого вида становятся практически невозможными. Некритическое применение случайных законов при пренебрежении возможностью поправок на причинные взаимосвязи, которые могут не быть важными в некоторых условиях и иметь решающее значение для других, может так же привести к ошибочным результатам, как и некритическое применение причинных законов, при котором мы пренебрегаем поправками, могущими быть вызванными действием случайных флуктуаций.

Точка зрения, которая обходит ошибки, вообще говоря, являющиеся результатом предположения о том, что либо причинные законы, либо законы случая являются основными и первичными видами законов, выдвигались в главе II, § 15. С этой точки зрения мы рассматриваем оба класса законов как приближения в том смысле, что так же, как причинный закон может воз-

¹ См., например, главу I, § 8.

никать в виде статистического приближения к среднему поведению большой совокупности элементов, претерпевающих неупорядоченные флуктуации, случайный закон может возникать в виде статистического приближения к действиям большого количества причинных факторов, движущихся существенно независимо¹. Однако в действительности ни причинные законы, ни случайные законы никогда не могут быть абсолютно правильными потому, что каждый из них утрачивает некоторую сторону того, что присутствует в более широких кругах явлений. При определенных условиях один или другой из этих видов законов может лучше выражать действия факторов, которые являются преобладающими и, следовательно, более хорошим приближением для этих частных условий. Тем не менее при достаточном изменении условий тот или иной тип закона в конце концов уже не будет выражать даже существенное в данном круге явлений и может быть заменен другим. Таким образом, мы вынуждены рассматривать эти два вида законов как в сущности дополняющие друг друга различные точки зрения на любой данный естественный процесс, такие, что иногда для схватывания существенного нам нужна то одна, то другая точка зрения, а временами мы должны соответствующим образом сочетать обе точки зрения. Но мы не предполагаем, как это обычно делается в механистической философии², что вся природа в конечном счете может быть совершенно идеально и безусловно рассматриваться лишь с одной из этих точек зрения так, что вторая при этом выглядит как несущественная, как простая тень, которая не вносит фундаментального вклада в наше представление о природе как целом. Таким образом, представление о качественной бесконечности природы приводит нас к необходимости рассмотрения законов природы как с точки зрения причинности, так и с точки зрения случайности, а также при более широком рассмотрении с точек зрения, которые могут выходить за эти пределы.

¹ Как мы указывали в главе II, § 14, обе эти возможности могут быть доказаны математически, а также с помощью типов рассуждений, которые имеют более качественный характер.

² См. главу II, § 13 и 15.

§ 7. Взаимосвязи и приблизительный и относительный характер самостоятельности способов бытия вещей

Качественная бесконечность природы имеет важное значение для проблемы взаимных отношений между вещами и для вопроса о степени приблизительной автономии способов бытия различных вещей.

Прежде всего, мы заметим, что существование универсальной взаимосвязи вещей давно настолько очевидно из опыта, что никто не может даже поставить ее под сомнение. Однако при механистической точке зрения предполагается, что эта взаимосвязь может в конечном счете быть сведена лишь к взаимодействию между фундаментальными сущностями, которые составляют систему. Под этим мы понимаем, что при взаимном действии этих сущностей друг на друга их свойства могут изменяться только качественно, причем их способы бытия не могут изменяться качественно при условии, что эти сущности являются действительно основными сущностями, из которых состоит система. Таким образом, в ньютоновских законах движения имеет место равенство действия и противодействия элементарных частиц, но не предполагается, что это действие и противодействие фундаментально влияет на свойства частиц.

С другой стороны, через представление о качественной бесконечности природы мы приходим, как видно из предыдущих параграфов, к заключению о том, что существование каждой частицы, сколь фундаментальной она ни кажется, зависит от соответствующих условий ее бесконечного внешнего фона и внутреннего строения. Однако очевидно, что условия внешнего фона и внутренней структуры должны быть подвержены влиянию их взаимодействий с рассматриваемыми сущностями. Действительно, как мы показали на множестве примеров, эта взаимосвязь может при соответствующих условиях стать столь сильной, что она вызывает качественные изменения способов существования каждого вида известных доньше сущностей¹. Этот тип взаимосвязи мы будем называть *взаимоотношениями* для того, чтобы отличить их от простого взаимодействия.

¹ См., например, § 5 и главу II, § 13.

Теперь вполне естественно встает вопрос: «Если все находится со всем во взаимосвязи, носящей существенный характер, в связи, при которой могут преобразовываться даже основные качества и способы бытия, то как можем мы разобраться в этих связях так, чтобы получить рациональное представление о законах, управляющих вселенной или частью ее?» Ответ заключается в том, что действия взаимосвязей, вообще говоря, не равноценны. Конечно, в главе I, § 4, мы указали, что, как хорошо известно, внутри определенных кругов явлений многие взаимоотношения не вызывают существенного действия, так что ими можно пренебречь. С другой стороны, если мы рассматриваем существенные взаимосвязи между двумя вещами, то мы должны, вообще говоря, учесть оба направления этой связи. Если оба направления имеют примерно одинаковую важность, то нам еще очень трудно будет распутать реальные отношения между вещами потому, что одна вещь влияет на основные качества и законы, определяющие способы бытия другой; и это влияние оказывается сложным процессом.

Однако опыт в широкой области явлений показывает, что оба направления взаимосвязи не всегда должны иметь одинаковое значение. Когда они не равнозначны, проблема, очевидно, упрощается потому, что вещь, которая оказывает наибольшее действие на другую, является в этой взаимосвязи преобладающим и регулирующим фактором. В этом случае мы можем изучать законы и способы бытия наиболее важных факторов с хорошей степенью приближения независимо от действий, которые могут быть вызваны менее второстепенными факторами. Тогда фундаментальной проблемой научного исследования является нахождение того, какие именно вещи¹ данного круга явлений и при данном наборе условий способны влиять на другие вещи, не изменяя существенно свои основные качества, свойства и законы. В таком случае имеются вещи, которые внутри рассматриваемой области самостоятельны в своих существенных характеристиках до определенной степени приближения. Когда мы

¹ Напомним, что мы здесь используем слово «вещь» в очень общем смысле так, что оно представляет что-то (например, объекты, сущности, качества, свойства, системы, уровни и т. д.).

нашли такие вещи, то мы можем использовать знания их для предсказания и контроля других вещей, способы бытия и основные характеристики которых зависят от них. Например, в случае отношения между крупномасштабным уровнем и атомным уровнем мы находим, как указано в главе II, § 13, что в обычно встречающихся условиях и в большинстве кругов явлений, которые были к настоящему времени исследованы физикой, действие атомных движений на законы крупномасштабного уровня гораздо более важно, чем действия законов крупномасштабного уровня на законы атомных движений. Таким образом, на основе изучения законов атомных движений можно делать приближенные предсказания относительно законов и свойств вещей на крупномасштабном уровне и таким образом усовершенствовать наше понимание крупномасштабного уровня и контроль за ним.

С другой стороны, как мы видели также в главе II, § 13, наше предсказание свойств крупномасштабного уровня с помощью свойств атомного уровня никогда не может быть идеальным лишь вследствие наличия малого, но тем не менее реального взаимного влияния законов крупномасштабного уровня на законы атомного уровня. Это объясняется электронным и нуклонным внутренним строением атома, которое на крупномасштабном уровне может быть подвержено значительному действию соответствующих условий (например, очень высоких температур). Причем, как мы видели, та же самая возможность может возникнуть по отношению к внутренней структуре каждой известной в физике сущности (например, электронов, протонов, мезонов и т. д.), если условия на крупномасштабном уровне изменяются соответствующим образом. В результате мы пришли к заключению, что в своих взаимосвязях с вещами, существующими на любом *данном* более низком уровне, сущности на макроскопическом уровне должны иметь по крайней мере относительную самостоятельность своих способов бытия в том смысле, что эти способы не могут быть идеально предсказаны на конкретно рассматриваемом более низком уровне (или уровнях). Даже если действиями, которые вытекают из этой самостоятельности, можно пренебречь в широкой области условий и кругов явлений, они могут стать очень важными в других условиях и кругах явлений.

Мы видим, что существование взаимоотношений означает, что каждая «вещь», существующая в природе, вносит свой вклад во вселенную как целое, вклад, который не может быть сведен полностью, абсолютно и идеально к действиям какой-либо совокупности или совокупностям других взаимосвязанных вещей. И, наоборот, это означает также, очевидно, что никакая данная вещь не может иметь полной самостоятельности своего способа бытия, поскольку ее основные характеристики должны зависеть от ее взаимоотношений с другими вещами. Таким образом, мы видим, что понятие вещи является абстракцией, в которой она *мысленно* отделена от бесконечного внешнего фона и от своей внутренней структуры. Однако в действительности она не существует и не могла бы существовать отдельно от круга явлений, из которого она таким образом была мысленно абстрагирована. И поэтому мир не складывается из различных «вещей», присутствующих в нем, а скорее эти вещи являются лишь приближениями, которые мы обнаруживаем при анализе определенных кругов явлений и при соответствующих условиях.

В итоге представление о бесконечности природы приводит нас к рассмотрению каждой вещи, обнаруживаемой в природе как некоторого вида абстракции и приближения. Ясно, что мы *должны* использовать такие абстракции и приближения лишь потому, что не имеем шансов иметь дело непосредственно с качественной и количественной бесконечностью вселенной. В таком случае задача науки состоит в нахождении надлежащего вида вещей, которые должны быть абстрагированы из мира для правильного рассмотрения проблем в различных кругах явлений и наборах условий. Тогда доказательство, что любой частный вид вещей является подходящим для данного круга явлений, состоит в показе того, что они с хорошей степенью приближения дают нам существенные черты реальности интересующего нас круга явлений. Другими словами, мы требуем, чтобы теории, построенные с помощью этих абстракций, давали возможность правильно предсказывать и управлять естественными процессами в соответствии с планами, построенными на основе этих теорий. Когда такая возможность отсутствует, мы должны, конечно, пересматривать наши абстракции до тех пор, пока наши усилия не

увенчаются успехом. Таким образом, научное исследование проходит через бесконечный ряд таких пересмотров, которые приводят нас к мысленным абстракциям вещей, становящихся все более и более самостоятельными при повышении степени приближения, расширения круга явлений и совокупности условий.

§ 8. Процесс становления

Пока мы рассматривали свойства и качества вещей в основном в той степени, в какой они могут быть абстрагированы из процессов, в ходе которых эти вещи все время меняют свои свойства и качества и становятся другими вещами. Теперь мы более подробно рассмотрим характерные черты этих процессов, которые можно назвать общим термином «движение». Под «движением» мы подразумеваем не только перемещения тел в пространстве, но также все возможные изменения и превращения материи, внутренние и внешние, качественные и количественные и т. д.

Как существование, так и необходимость описанного выше процесса движения в настоящее время показаны бесчисленным множеством способов во всех науках. Так, астрономическое исследование показывает, что планеты, звезды, туманности и галактики — все принимают участие в очень большом количестве характерных для них движений. Эти движения являются следствием действий гравитационных сил, которые могли бы привести тела в движение, даже если они первоначально находились в покое, и в силу наличия инерции сохранить их в состоянии движения. И в результате этих движений в течение отрезков времени порядка миллиардов лет могут возникнуть новые звезды, новые планеты, новые туманности, новые галактики, новые галактики галактик, причем более старая организация вещей перестает существовать. Геология показала, что на Земле все время явно изменяются устойчивые черты поверхности. Так, в результате действия потоков воды и ветра существующие горные породы, горы и даже континенты непрерывно исчезают, тогда как в конце концов подземные движения непрерывно приводят к образованию новых горных пород, гор, континентов. Биология показывает, что жизнь представляет собой непрерывный процесс неисчерпаемой

сложности, в ходе которого возникают, живут и умирают различные виды организмов. Действительно, существование каждого организма поддерживается существованием внутри него процессов обмена веществ, а также движениями, необходимыми для добывания пищи и других материалов из окружающей среды. В течение длительного времени как результат действия естественного отбора и других факторов должны были развиться формы жизни; и в ходе этого процесса возникли новые виды организмов, а старые вымерли. В течение еще больших отрезков времени сама жизнь возникла из неодушевленной материи, весьма вероятно, в результате движений на неорганическом уровне, предполагаемых А. И. Опариным¹, и при изменении условий она в дальнейшем может прекратить существование, может быть, для того, чтобы уступить дорогу чему-то новому, о чем мы в настоящее время не имеем представления. В химии мы видим, что в результате теплового возбуждения молекул и других причин, различные химические соединения должны вступать в реакцию, вследствие чего возникают новые виды соединений, тогда как уже существующие виды соединений должны разлагаться на более простые соединения. В физике мы обнаруживаем на атомном уровне и ниже универсальное и непрекращающееся движение, которое является необходимым следствием законов, действующих на этих уровнях, и которое становится все более интенсивным по мере нашего углубления. Так, имеются атомные движения, электронные и нуклонные движения, движения поля, квантовые флуктуации, возможные флуктуации на субквантовомеханическом уровне и т. д. Причем, как это бывает на более высоких уровнях, при этих движениях изменяются не только количественные свойства вещей (например, положение, скорость и т. д. различных частиц, напряженность различных полей и т. д.), но и основные качества, определяющие способы бытия таких сущностей, как молекулы, атомы, нуклоны, мезоны и т. д., с которыми мы имеем дело в этой теории.

Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что мы не обнаружим черты чего-либо, что не претерпевает необходимых и характерных движений. Другими сло-

¹ См. главу I, § 8.

вами, такие движения не являются несущественными возмущениями, наложенными извне на прочие статически существующие виды материи. Скорее, они являются присущим и неотъемлемым свойством материи как таковой, поэтому, вообще говоря, даже не имело бы смысла рассматривать материю в отрыве от движений, которые необходимы для определения ее способа существования.

В таком случае различные движения материи имеют еще одну очень важную характеристику, а именно они не являются и не могут быть четко координированными для того, чтобы привести к простым и повторяющимся результатам. Скорее они зачастую являются весьма сложными и плохо координированными и содержат в себе очень много, сравнительно независимых и противоречивых тенденций.

Имеются две общие причины необходимости проявления таких противоречивых тенденций: во-первых, они всегда являются случайными возмущениями, возникающими в результате существенно независимых причин, и, во-вторых, постоянные процессы, необходимые для самого существования рассматриваемых вещей, находятся, как правило, в противоречии с некоторыми своими действиями на протяжении длительного времени. Мы приведем здесь несколько примеров, взятых из областей, рассмотренных в предыдущем параграфе. Так, в области астрономии мы находим, что отчасти в результате случайных возмущений другими галактиками и отчасти в результате законов движения под действием гравитационных сил, возникающих в той же галактике, звезды имеют очень сложное и беспорядочное распределение скоростей по всем направлениям и т. д., в результате чего некоторые системы звезд распадаются, а новые системы образуются. На поверхности Земли бури, землетрясения и т. д., которые происходят случайно по отношению к жизни данного индивидуума, могут создать условия, в которых этот индивидуум не сможет продолжать жить, в то время как аналогичный результат может быть вызван большим возрастом, что вытекает из действий самого процесса обмена веществ, необходимого для поддержания жизни. Переходя к физике, мы видим, что и действия случайных флуктуаций и постоянных причинных законов непрерывно при-

водят к сложным и интенсивным флуктуациям на различных уровнях, которые плохо скоординированы друг с другом и которые часто приводят к возникновению противоречивых тенденций движений. Действительно, эти противоречивые тенденции не только необходимо вытекают из законов, которым подчиняются движения, но должны существовать для того, чтобы множество вещей могло обладать характерными свойствами, которые позволяют определять вещи как таковые. Например, газ не имел бы своих типичных свойств, если бы все молекулы имели сильную тенденцию к скоординированному движению. Вообще говоря, относительная самостоятельность способов бытия различных вещей означает определенную независимость этих вещей, а это в свою очередь означает, что между этими вещами могут возникать противоречия, так как, если бы вещи были скоординированы таким образом, что они не могли бы вступать друг с другом в противоречие, они не могли бы быть действительно независимыми.

Мы приходим к заключению, что наличие противоположных и противоречивых движений является правилом для всей вселенной, и это является существенной стороной самого способа бытия вещей.

В таком случае вполне закономерен вопрос, как возможно, что любой вид качества, свойства, сущности, уровня, области и т. д. существует даже относительно самостоятельно, если в их окружении и внутренней структуре происходит бесконечное множество относительно независимых видов движений с противоречивыми тенденциями. Ответ состоит в том, что существование любого частного качества, свойства, сущности, уровня, области и т. д. возможно как результат равновесия процессов, которые имеют тенденцию изменяться по различным направлениям. Так, в простом случае жидкости¹ мы имеем равновесие действий межмолекулярных сил, которые стремятся сблизить молекулы, и неупорядоченных тепловых движений, которые стремятся разрушить всю систему. В галактике имеет место равновесие гравитационных сил, с одной стороны, и центробежные тенденции, обусловленные вращением и разрушительными действиями неупорядоченных компонент движения

¹ См. главу II, § 10.

звезд, с другой стороны. В атомах имеется аналогичное равновесие сил притяжения ядер, с одной стороны, и разрушительные действия, вызванные квантовыми флуктуациями движения электронов и центробежных тенденций, вызываемых вращениями электронов вокруг ядра, с другой стороны. В случае живых существ мы сталкиваемся с гораздо более тонкой и сложной системой процессов уравнивания. Однако полный анализ этого процесса, естественно, произвести нельзя. Но мы уже можем видеть, что двумя важнейшими направлениями процессов, протекающих в живых существах, являются направление процессов, ведущее к росту, и направление, ведущее к распаду. Если процессы роста развиваются, не сопровождаясь обратным процессом, то типичным возможным результатом может быть возникновение рака, которое в конце концов приводит организм к гибели. С другой стороны, если противоположные процессы протекают беспрепятственно, то органы атрофируются и отомрут, и организм опять в конце концов погибнет. Следовательно, поддержание жизни требует наличия относительного равновесия процессов разрушения и распада тканей и образования свежих тканей.

Ясно, что если существование качеств, свойств, сущностей, областей, уровней и т. д. поддерживается с помощью равновесия процессов, стремящихся изменить их, то это равновесие, вообще говоря, может быть лишь приблизительным и условным. В результате любая данная вещь подвержена изменениям при изменении условий, как тех, которые производятся извне, так и тех, которые могут быть необходимыми следствиями внутренних движений, связанных с самим способом бытия рассмотренной вещи. Для иллюстрации этой точки зрения возвратимся к проблеме жидкости. Пока температура, давление и т. д. жидкости остаются постоянными, будет продолжаться равновесие молекулярных процессов, которые обуславливают наличие жидкого состояния. Но представление об изолированном образце жидкости, очевидно, является абстракцией. Любая реальная жидкость существует в окружении некоторого вида, которое не может исчезнуть по прошествии достаточного количества времени. Так, если сосудом является Земля, она будет подвергаться температурным изменениям, бурям и землетрясениям, которые могут нарушить любой

механизм стабилизации температуры ее окружения, и в течение длительных периодов времени геологическим процессам, которые могут оказывать на нее аналогичные воздействия. Таким образом, можно наверняка предсказать, что если, например, мы рассматриваем период в сто миллионов лет, никакой конкретный образец жидкости не сохранится в течение всего этого времени как жидкость. Анализируя эту проблему дальше, мы видим, что по мере рассмотрения все более широких кругов явлений и все больших периодов времени появляется все больше возможностей для изменения условий таким образом, что любое конкретное равновесие процессов изменится фундаментально. Поэтому наука может открыть взаимосвязи с более и более относительно самостоятельными сущностями, областями, системами и т. д., движения которых будут влиять на рассматриваемые процессы. Действительно, если мы рассмотрим крайний случай сверхгалактических областей пространства и соответствующих им периодов времени, мы увидим, что имеется возможность существования столь широкой области изменения условий, что каждый вид сущности, области, системы или уровня в конечном счете изменится фундаментально, даже исчезнет или отомрет и на его место придут новые сущности, области и уровни. Например, существует теория, в которой предполагается, что примерно пять миллиардов или более лет тому назад видимые в настоящее время части вселенной были сосредоточены в сравнительно малой области пространства, имели крайне высокую температуру и плотность так, что ни атомы, ни ядра, ни электроны, ни протоны, ни нейтроны в том виде, в котором мы их теперь знаем, не могли существовать (материя должна была тогда иметь некоторую другую форму, о которой мы в настоящее время можем лишь догадываться). Затем предполагается, что эта конкретная часть вселенной расширилась и соответственно охладилась так, что в конце концов в результате процессов, в которые нам нет нужды углубляться, возникли электроны, протоны, нейтроны, атомы, пыль, облака, галактики, звезды, планеты и т. д. Остаточным действием скоростей, которые получила материя при этом взрыве, является удаление звезд, на которое наводит мысль так называемое «красное

смещение»¹. Здесь очень важно подчеркнуть, сколь умо- зрительными и временными являются основные моменты этой теории².

Тем не менее для наших целей интересно, что она дает пример того, сколь широки могут быть действия на- рушения равновесия противоположных процессов внутри существовавшего ранее очень плотного состояния мате- рии, так как в результате взрыв положил начало всему, что существует в видимой теперь для нас части все- ленной.

Во всяком случае, какова бы ни была неизвестная нам в настоящее время ранняя фаза эволюции этой кон- кретной части вселенной, существует значительное ко- личество фактов, дающих основание полагать, что га- лактики, звезды и Земля возникли из некоторого суще- ствовавшего ранее, совершенно отличного состояния вещей. О том, что происходило на нашей планете после ее возникновения, конечно, мы имеем гораздо больше

¹ «Красное смещение» спектральных линий звезд было истол- ковано как доплеровское смещение, вызванное движением удаляю- щихся звезд. Если это истолкование правильно, то звезды уда- ляются друг от друга со скоростями, более или менее пропорцио- нальными их расстояниям. Наиболее отдаленные видимые звезды должны иметь скорость 16 000 км/сек, а еще более удаленные звезды, видимо, еще большие скорости. Однако имеется много возможных объяснений одного и того же явления; например, может быть, что поведение света при прохождении больших расстояний несколько отличается от поведения, предсказанного уравнениями Максвелла, так что частота света уменьшается по мере прохожде- ния его через пространство.

² В опубликованных вариантах этой теории предполагается, что *вся вселенная* (а не только ее часть) была первоначально сконцентрирована в упомянутой выше малой области пространства. Даже если мы не введем этого дополнительного предположения, теория все равно является совершенно умозрительной. Но это до- полнительное предположение основано на общей теории относи- тельности Эйнштейна, которая была доказана лишь довольно при- ближенно для слабых гравитационных полей при низких концен- трациях материи и в ограниченных областях пространства. Была проведена гигантская экстраполяция ее на гравитационные поля фантастической интенсивности, на неслыханные концентрации ма- терии и на область пространства, включающую в себя ни больше, ни меньше, как всю вселенную. Несмотря на то, что в настоящее время нельзя доказать неправильность этой экстраполяции, она во всяком случае является примером крайнего механицизма. Если мы освободим теорию от этих неуместных и необоснованных экстра- поляций, то гипотеза все же будет представлять интерес.

фактов, обнаруживаемых по следам в горных породах, окаменелостях и т. д. Тогда, касаясь происхождения жизни, мы можем принять гипотезу А. И. Опарина¹, которая дает по крайней мере набросок процесса возникновения на Земле живых существ. Теперь мы видим важность неполной координации и противоречивого характера различных видов процессов, которые происходили на Земле в рассматриваемое время, так как бури, океанские течения, воздушные потоки и т. д. должны были привести к случайному смешению различных органических соединений, пока наконец не появилось вещество, которое начало воспроизводиться за счет излишков окружающего органического материала. В результате противоречивый характер движений на неорганическом уровне создал условия, при которых смог возникнуть весь новый уровень, уровень живой материи. И с этого времени изменения в неодушевленной окружающей среде перестали быть единственными причинами развития, так как фундаментальное свойство жизни состоит в том, что сами процессы, необходимые для ее существования, будут изменять ее. Так, в случае отдельного живого существа равновесие роста и умирания никогда не является идеальным, поэтому в ранние фазы жизни организм растет, затем во время зрелости достигает приблизительного равновесия и затем начинают побеждать процессы умирания, приводящие к смерти. Что касается различных видов живых существ, рассматриваемых коллективно, они создают друг другу взаимную окружающую среду как посредством конкуренции, так и посредством сотрудничества. Таким образом, в результате самого развития многих видов живых существ окружающая среда изменяется так, что равновесие процессов, поддерживающих наследственность таких видов, изменяется, результатом чего является хорошо известная эволюция видов.

В итоге мы видим, что сама природа мира такова, что он содержит в себе огромное разнообразие полусамостоятельных и противоречивых движений, тенденций и процессов. Так, если рассматриваем любую конкретную вещь, то либо внешние по отношению к ней движения, либо внутренние движения, являющиеся

¹ См. главу I, § 8.

присущими ей сторонами ее способа бытия в конечном счете изменят или разрушат равновесие процессов, необходимых для поддержания существования вещи в ее настоящей форме и при наличии ее настоящих характеристик. По этой причине любая данная вещь или сторона этой вещи должна быть необходимо подвержена фундаментальным видоизменениям и в конечном счете гибели или распаду, чтобы она могла быть заменена новыми видами вещей.

В заключение отметим, что представление о качественной бесконечности природы приводит нас к рассмотрению вечного, но непрерывно изменяющегося процесса движения и развития, описанного выше, как неотъемлемой и существенной стороны материи. При этом процессе нет предела возникновению новых видов вещей и нет предела числу видов превращений, как качественных, так и количественных, которые могут произойти. Этот процесс, с которым связано бесконечное множество различных типов естественных законов, является как раз процессом становления, впервые описанным Гераклитом более двух тысяч лет тому назад (хотя, конечно, сейчас мы располагаем гораздо более определенным и точным представлением о природе этого процесса, чем представление, которое могли иметь древние греки).

§ 9. Об абстрактном характере понятия определенных и неизменяющихся способов бытия

Из предыдущего параграфа ясно, что полученные до сих пор эмпирические факты показывают, что пока не открыто ничего обладающего таким способом бытия, который вечно оставался бы определенным данным образом. Скорее всегда обнаруживалось, что каждый элемент, сколь фундаментальным бы он ни казался, при соответствующих условиях изменяет даже свои основные качества и становится чем-то другим. Причем, как мы видели, представление о качественной бесконечности природы означает, что вещь каждого вида не только может измениться фундаментально, но и что спустя достаточное количество времени условия в ее бесконечном внешнем фоне и внутренней структуре изменятся

настолько, что она тоже *должна* будет измениться. Следовательно, представление о чем-то с исчерпывающе конкретизируемым и неизменяющимся способом бытия может быть лишь приближением и абстракцией бесконечно сложных изменений, имеющих место в реальном процессе становления. Такое приближение и абстракция будут применимы к периодам времени, достаточно коротким для того, чтобы не могло произойти существенных изменений основных свойств и качеств, определяющих способы бытия рассматриваемых вещей.

Когда мы рассматриваем отрезки времени, достаточно большие для того, чтобы основные виды вещей, описываемых любой конкретной теорией, претерпевали фундаментальные качественные изменения, то оказывается несостоятельным предположение, что мы можем конкретизировать способы бытия этих вещей *точно* и *исчерпывающе* с помощью понятий, которые были применимы до того, как наступило это изменение. Действительно, тот факт, что вещь может претерпевать качественное изменение, сам по себе является существенным свойством способа бытия вещи и вместе с тем свойством, которое не содержалось в первоначальном представлении о нем. Например, как мы видели в главе I, § 6, превращение воды при нагревании в пар, а при охлаждении в лед является основным свойством рассматриваемой жидкости, без которого вода не была бы водой. Тем не менее первоначальное представление о воде лишь как о жидкости, очевидно, не включает в себе представления о превращении ее в пар или лед, ни явно, ни неявно как необходимого свойства жидкости. Следовательно, это понятие не дает точного и исчерпывающего представления о всех свойствах рассматриваемой жидкости.

В таком случае обычным подходом к проблеме является рассмотрение взаимных превращений твердого, жидкого и парообразного состояния, происходящих при некоторых температурах, как части качеств, определяющих способ бытия единой более широкой категории вещества, а именно воды. Но тогда та же проблема опять возникает на новом уровне, так как законы, которым подчиняются превращения качеств, в свою очередь рассматриваются как часть вечной и исчерпывающей конкретизации свойств вещества —

воды. В действительности этот закон применим и имеет смысл при ограниченных условиях. Например, он теряет силу при температурах и плотностях вещества столь высоких, при которых не может быть таких образований, как атомы, и, следовательно, такого вещества, как вода. Таким образом, мы вынуждены рассматривать воду как конкретное состояние еще более широкой категории вещей (например, системы электронов, протонов, нейтронов и т. д.), а законы, которым подчиняются превращения воды в другие виды веществ, — как часть способа бытия еще более широкой категории. Но если в конце концов *все* вещи претерпевают качественные превращения, то вышеописанный процесс никогда не окончится. Таким образом, мы приходим к следующему выводу: представление о том, что все вещи могут стать иными видами вещей, означает, что полное и вечно применимое определение любой данной вещи нельзя выразить через любое конечное число качеств и свойств.

Однако если мы начнем с противоположной стороны, а именно с представления о качественной бесконечности природы, то мы непосредственно сможем определить способ существования любой данной вещи так, что он не будет противоречить возможности превращения ее во что-нибудь еще, так как мы видели в § 7, что взаимоотношения всех вещей означают, что никакая данная вещь не может *точно и во всех отношениях* быть вещью, определяемой с помощью любой конкретной мысленной абстракции. Она всегда будет богаче ее и по крайней мере в некоторых отношениях будет *чем-то иным*. Следовательно, если вещь становится чем-то еще, то не обязательно возникает неразрешимое противоречие, так как в любом случае никогда первоначальное представление о ней не представляет ее точно. Логически рассуждая, мы, следовательно, можем сказать, что наша точка зрения, выясняющая смысл наших мысленных абстракций, оставляет место для возможности качественных изменений, заставляя нас признать, что пренебрегаемые нами стороны вещей могут при соответствующих условиях перестать быть несущественными и действительно могут стать столь важными, что вызовут фундаментальные изменения основных свойств рассматриваемых вещей.

Мы можем проиллюстрировать вышеприведенные заключения, возвращаясь к подробному рассмотрению механизма взаимных превращений пара, воды и льда. Так, в главе II и в настоящей главе мы видели, что макроскопическое представление о некотором состоянии вещества (например, газообразном, жидком или твердом) не учитывает огромного количества факторов, которые не определены и не могут быть определены в одной макроскопической области. К ним относятся движения молекул, составляющие квантовые флуктуации жидкости, флуктуации поля, движения ядер, мезонов, движения на возможном субквантовомеханическом уровне и т. д. Короче говоря, мы можем сказать, что реальная жидкость по своим качествам и свойствам богаче нашего макроскопического представления о ней. Однако это богатство таково, что на макроскопическом уровне этими дополнительными характеристиками в широкой области применений можно пренебречь. Тем не менее, когда мы подходим к выяснению причин возможности взаимопревращений газа, жидкости и твердого вещества, мы не можем более полностью пренебречь дополнительными свойствами реальной жидкости. Таким образом, как показано в главе II, § 10, на основе представлений о молекулярном движении можно объяснить по крайней мере существенные черты перехода в системе от одного состояния, в котором один ряд качеств (то есть качеств, относящихся к газу) является определяющим, преобладающим и регулирующим фактором, к другому состоянию, в котором его заменяют другие ряды качеств (например, качеств, относящихся к жидкости). Причем, согласно представлению о качественной бесконечности природы, общий результат того же вида получается для всех вещей, включая, например, даже наиболее фундаментальные сущности, которые были открыты на любой конкретной стадии развития физики.

Абстрактное понятие о неизменных и исчерпывающе конкретизируемых способах бытия вещей оказывается несостоятельным не только для слишком больших отрезков времени (из-за возможности фундаментальных качественных изменений), но также и для слишком малых отрезков времени потому, что характерные свойства и качества вещи существенно зависят от процессов,

происходящих во внешнем фоне и внутренней структуре вещи. Так, свойства атома (например, спектральные частоты, химическая активность и т. д.) возникают и в основном определяются в процессе движения электронов по орбите, порядок периода которого равен 10^{-15} секунд. Однако в течение более коротких отрезков времени свойства атома как целого определены столь плохо, что их даже неудобно рассматривать как таковые. Более удовлетворительное представление о том, что такое атом, можно получить, рассматривая его как совокупность электронов, движущихся вокруг ядра. Но, если мы будем все больше сокращать отрезок времени, та же проблема возникнет по отношению к электронам, протонам, нейтронам, мезонам и т. д. И, если мы перейдем к более крупному масштабу, читатель сразу же убедится в наличии аналогичного поведения (например, существование живого организма поддерживается внутренними процессами обмена веществ и процессами в нервах, протекающими быстро по сравнению с отрезком времени, в течение которого имеет смысл определять основные характерные черты такого существа). Действительно, представление о качественной бесконечности природы означает, что такое поведение неизбежно, ибо, как мы видели в предыдущем параграфе, существование каждого вида вещи поддерживается равновесием противоположных процессов в его бесконечном внешнем фоне и внутренней структуре, стремящихся изменить его различными путями. Таким образом, свойства такой вещи могут быть определены лишь для отрезков времени, достаточно больших для того, чтобы среднее значение действий всех этих процессов существенно не флуктуировало.

В таком случае ясно, что все наши понятия являются различными абстрактными представлениями материи, находящейся в процессе становления. Однако выбор таких абстракций ограничен требованием того, что они будут представлять существенное в некотором круге явлений с подходящей степенью приближения и при соответствующих условиях.

Очевидно, конкретный вид абстракции, которая используется, может изменяться, обнаруживая зависимость от круга явлений. Так, в теориях явлений простого типа, в которых вещи могут быть представлены

с некоторым приближением как находящиеся в равновесии, способы бытия основных сущностей и свойств могут полагаться полностью статическими (например, в статике и в термодинамике). Однако при изучении явлений, когда необходимо рассматривать движение, требуется более высокий уровень абстракции. Так, например, в механике рассматривается система частиц, которые меняют свое положение, не переставая быть частицами. Другими словами, бытие частиц *не зависит* от их положения и поэтому мы можем рассматривать их как движущиеся в пространстве. Но неизменяющиеся *законы*, соответствующие этим движениям, рассматриваются теперь как составляющие существенную часть способов бытия рассматриваемых частиц. Таким образом, мы не избавились от необходимости рассмотрения неизменяющихся и исчерпывающе конкретизируемых способов бытия. Конечно, в принципе мы могли бы пойти дальше и предположить, например, что даже законы движения частиц меняются со временем. Но тогда мы еще предполагали бы, что законы более высокого порядка, применимые к этому процессу развития, сами являются неизменяющимися и в принципе исчерпывающе конкретизируемыми по своей форме. Согласно представлению о том, что все подвержено процессу становления, даже эти последние черты законов никогда не могли бы быть полностью неизменяющимися и исчерпывающе конкретизируемыми через конечное число видов вещей.

Здесь мы приходим к выводу о неизбежности достижения в каждой теории стадии, на которой мы вводим понятие чего-то с неизменяющимися и исчерпывающе конкретизируемыми способами бытия, как если бы мы не могли учесть все неисчерпаемо богатые свойства, качества и соотношения, существующие в процессе становления. В этом пункте мы абстрагируемся от реального процесса становления. Адекватность абстракции зависит от того, насколько существенно изучаемые нами явления зависят от того, чем мы пренебрегаем. При дальнейшем развитии науки мы неизбежно проходим через ряд таких абстракций, которые представляют все лучше и все больше сторон материи в конкретном и реальном процессе становления.

Теперь, когда мы применяем к процессу становления слово «конкретный», мы хотим этим обратить внимание на частное, особенное и единственное в своем роде качество бытия, которое всегда оказывается характеристикой реальных вещей при достаточно детальном изучении их. Например, если мы рассматриваем любое понятие (например, яблоко), то это понятие не содержит в себе ничего такого, что позволило бы нам отличать одно яблоко от другого. Затем мы можем указать другие качества, которые позволяют проводить такое различие (например, красные, жесткие, сладкие яблоки и т. д.). Конечно, никакое конечное число таких качеств не сможет никогда полностью представить любой конкретный пример реального яблока. Конечно, углубляясь (например, задавая физическое и химическое состояние каждой части яблока), мы смогли бы ближе подойти к нашей цели. Но этот процесс никогда не мог бы закончиться, так как даже способы бытия отдельных атомов, электронов, протонов и т. д. внутри яблока в свою очередь определяются с помощью бесконечного множества сложных процессов в их внутренних структурах и внешних фонах. Так, мы видим, что, поскольку каждый вид вещи определяется лишь через неисчерпаемый набор качеств, каждое из которых имеет некоторую степень относительной независимости, такая вещь может и фактически должна быть *единственной в своем роде*, она не совсем тождественна любой другой вещи во вселенной, но подобна так, как могут быть подобны друг другу две вещи¹.

Проводя анализ дальше, мы теперь замечаем, что, поскольку бесконечное количество факторов, определяющих любую данную вещь, всегда изменяется со вре-

¹ Согласно принципу запрета Паули, любые два электрона считаются «тождественными». Это заключение вытекает, с одной стороны, из отсутствия в рамках современной квантовой теории качества, по которому их можно было бы отличать друг от друга. С другой стороны, вывод об их *полной* тождественности во *всех* отношениях следует, лишь если мы примем предположение обычной интерпретации квантовой теории, состоящей в том, что настоящая общая форма теории будет оставаться верной во всех областях, которые когда-либо будут исследованы. Если мы такого предположения не сделаем, то всегда, разумеется, можно предположить, что различия между электронами могут возникнуть на более глубоких уровнях.

менем, никакая вещь не может оставаться тождественной даже себе с течением времени. В некоторых отношениях это приводит нас к более глубокому представлению о процессе становления, чем то, которым мы располагали раньше, так как в любой момент времени каждая вещь при рассмотрении с одной стороны обладает огромным (фактически бесконечным) числом аспектов, совпадающих со сторонами, которые она имела незадолго до этого. Действительно, если бы это было не так, она не была бы вещью, то есть не сохранила бы вовсе никакого вида тождества. Если же ее рассматривать с другой стороны, она имеет столь же огромное (фактически бесконечное) число аспектов, отличающихся от тех, которые она имела незадолго до этого. Однако для типичных видов вещей, с которыми мы обычно имеем дело, эти последние аспекты не являются существенными в обычных кругах явлений и при обычных условиях, с которыми нам приходится сталкиваться. Но в новых кругах явлений (например, для субатомных или супергалактических отрезков времени) или в новых условиях (например, при очень высоких температурах) эти аспекты могут иметь решающее значение.

Таким образом, мы приходим к выводу, что процесс становления в каждый момент будет иметь некоторые конкретные и единственные в своем роде аспекты. Другими словами, каждая вещь в каждый момент своего существования должна иметь некоторые качества, которые в определенном отношении принадлежат исключительно этой вещи в этот момент. Понятие о неизменяющихся и исчерпывающе конкретизируемых способах бытия является тогда абстракцией, получающейся, вообще говоря, путем рассмотрения общего, которое имеет одна и та же вещь в различные моменты времени или которое имеют многие аналогичные вещи в один и тот же момент. При этом мы, разумеется, пренебрегаем различиями между этими вещами, которые являются столь же существенной стороной их, как их сходства. Абстрагируясь более детально от этих различий, мы обязательно увидим более новые, но более тонкие стороны, при которых эти различия содержат в себе общие или аналогичные отношения, применимые ко всем этим вещам. Таким образом, единственность в своем роде

каждой вещи в каждый момент времени отражается в наших абстрактных понятиях в виде неограниченного богатства и сложности понятий, необходимых для получения все лучших и лучших абстрактных представлений о материи в процессе становления, или, другими словами, в виде неисчерпаемости качеств, которые должны быть обнаружены в природе.

§ 10. Причины недостаточности лапласовского детерминизма

Теперь мы уже можем видеть, почему механистический детерминизм Лапласа неприменим, если представление о качественной бесконечности природы является правильным, ибо этот вид детерминизма означает, что законы природы таковы, что сверхсущество Лапласа может знать их во всей их полноте. С другой стороны, согласно представленной нами точке зрения, это является невозможным.

Во-первых, напомним, что независимо от совершенства формулировки законов природы результаты всегда будут неизбежно зависеть от существенно независимых случайных факторов, которые имеют место вне рассматриваемого круга явлений и которые поэтому испытывают случайные флуктуации по отношению к движениям внутри рассматриваемого круга явлений. Поэтому причинные законы, применимые внутри любого конкретного, очевидно, не будут достаточны для идеального предсказания даже происходящего внутри этого круга явлений.

Однако, во-первых, существенная независимость различных кругов явлений означает, что процессы, протекающие внутри данного круга явлений, не могут полностью и идеально отразить происходящее в бесчисленном множестве всех возможных кругов явлений. Например, вследствие взаимной компенсации случайных флуктуаций точные детали атомных движений обычно не находят какого-либо существенного отражения в законах макроскопического уровня. Тогда законы каждого нового круга явлений должны, вообще говоря, быть обнаружены с помощью новых видов экспериментов, поставленных так, что они создают условия, при которых законы нового исследуемого круга явлений на-

ходят существенное отражение в поведении прибора. Следовательно, даже зная полную совокупность всех законов природы, сверхсущество должно было бы проводить бесконечное число различного рода экспериментов, каждый из которых дал бы результаты, значительно зависящие от законов иного круга явлений, для того чтобы оно могло получить посредством этого необходимую информацию. Сделав это, оно смогло бы открыть не только все уже действующие виды законов, но также все новые законы, которые можно выразить лишь через бесконечное количество новых качеств, новых сущностей и новых уровней, возникающих непрерывно вплоть до бесконечно удаленного будущего. Тогда очевидно, что, если лапласовское сверхсущество скорее напоминает нас, поскольку оно приобретает знания с помощью ряда исследований частных составных частей вселенной, а не с помощью божественного откровения или априорной интуиции, заложенной в глубинах его собственного ума, оно никогда не сможет предсказать целиком будущее вселенной или даже приближаться к такому предсказанию как к пределу, независимо от того, сколь хорошим вычислителем оно может быть. И, если бы ему было доступно такое откровение или интуиция, вряд ли был бы необходим расчет, поскольку детальное предсказание поведения вселенной было бы возможно лишь в результате чуда, чуть большего, чем то, с помощью которого оно узнало бы на первом этапе основные законы вселенной.

Мы видим, что поведение мира не определяется идеально любой возможной чисто механической или чисто количественной стороной причинной связи. Однако это не означает, что оно произвольно, так как, если мы рассматриваем любое данное действие, мы всегда в принципе можем проследить, какие причины обуславливают возникновение его существенных сторон. Когда мы начинаем углубляться в прошлое, мы обнаруживаем три важных обстоятельства, а именно: во-первых, число причин, в значительной степени вызывающих данное действие, увеличивается беспредельно; во-вторых, все больше и больше количественно различных видов причинных факторов оказываются существенными, и, наконец, эти причины зависят от новых второстепенных факторов, приводящих к новым видам

случайности. Например, рассмотрим лунное затмение. В пределах коротких отрезков времени оно является довольно точно предсказуемым явлением, которое определяется координатами и импульсами Земли и Луны относительно Солнца. Если мы будем рассматривать более длительные отрезки времени, определение координат и импульсов мы должны производить более точно для того, чтобы иметь возможность производить предсказание этого действия с заданной точностью, так как детали движения становятся очень сильно зависимыми от точного задания начальных условий. В результате этого возрастает значение возмущений, вызываемых другими планетами, земными приливами, Луной, Солнцем и других существенно независимых второстепенных факторов. Для достаточно продолжительных отрезков времени даже флуктуации, вызываемые молекулярными движениями, могут в принципе вызывать существенные действия; но прежде, чем учет этого действительно мог бы стать важным, мы должны углубиться в прошлое и рассмотреть качественно отличную фазу газообразных туманностей, из которых возникли Земля, Луна и Солнце. Тогда мы видим, что неупорядоченные движения газовых молекул в этих туманностях оказывали влияние в конечном счете на сроки затмений, происходящих в настоящее время. Если мы еще дальше углубимся в прошлое, мы можем рассмотреть плотное состояние материи, которое, видимо, существовало до взрыва, результатом которого является современное состояние видимой в настоящее время части вселенной. Тогда движения сущностей, имевшие место в этом первоначальном состоянии, независимо от того, какими они могли быть, оказали бы влияние на сроки затмений, происходящих в настоящее время. Но на эти движения могли бы оказывать влияние, имевшее место еще раньше, второстепенные факторы. И так без конца. Причем ясно, что затмение Луны представляет собой явление, детерминированное исключительно просто вследствие относительной изоляции Земли и Луны от других небесных тел. В случае других процессов, где степень изоляции значительно меньше, переплетение и слияние действий все большего и большего числа второстепенных факторов и различных качеств по мере углубления в прошлое сильно возрастает. Таким обра-

зом, для бесконечного отрезка времени детерминированность даже существенных черт действия, очевидно, не является чисто механической, потому что она включает в себя не только бесконечное число второстепенных факторов, но и бесконечное множество видов качеств, свойств, законов связи, которые все в свою очередь фундаментально изменяются с течением времени.

§ 11. Обратимость и необратимость законов природы

В этом параграфе мы сделаем несколько замечаний относительно усложнений, которые вносит качественная бесконечность природы в вопрос об обратимости и необратимости законов природы.

Хорошо известно, что познанные на сей день законы микрофизики проявляются как обратимые. Это следует из того, что, если мы знаем любое решение основных уравнений системы (ньютоновских законов движения, законов теории относительности, законов квантовой теории), то мы можем найти другое возможное решение путем перемены знака у времени t с плюса на минус¹. Физически это означает, что для любого заданного движения всегда, по крайней мере в принципе, может иметь место аналогичное движение, но происходящее в обратном порядке. Конечно, для того чтобы получить такое обращение движения в действительности, мы должны были бы соответствующим образом изменить граничные условия (например, обратить все скорости различных частиц, скорости изменения полей и т. д.). Такое обращение, вообще говоря, не происходит самопроизвольно, по крайней мере в пределах любого практически значительного периода времени. Для иллюстрации этого рассмотрим, например, два объема с газом, один из которых содержит водород, а другой — кислород, и представим, что мы открыли трубу, соединяющую эти сосуды. Как хорошо известно, газы будут диффундировать друг в друга. Причина этого, конечно, заключается в том, что вследствие своего сложного и неупорядоченного

¹ В случае квантовой теории мы также должны заменить волновую функцию ψ на функцию, комплексно-сопряженную с ней, но это не изменит вероятности какого-либо физического процесса, которая зависит только от $|\psi|^2$.

движения молекулы водорода будут стремиться проникнуть в объем, содержащий кислород, а молекулы кислорода по этой же причине будут стремиться проникнуть в объем, содержащий водород. Как мы видели в главе II, § 12, такие процессы можно рассмотреть с помощью законов случая так, что к ним можно применить теорию вероятностей. Поскольку по истечении длительного отрезка времени любая конкретная молекула с равной вероятностью будет находиться в любой области пространства, мы приходим к выводу, что в среднем спустя значительное время мы получим практически равномерную смесь водорода и кислорода. Однако для законов случая характерно, что могут наблюдаться флуктуации от этого среднего состояния, хотя большие флуктуации очень редки. Простой расчет, использующий соответствующий закон вероятности для этих флуктуаций, показывает, например, что случайная комбинация молекул, которая соответствовала бы первоначальному распределению кислорода и водорода по своим объемам, имела бы место через $10^{10^{10}}$ лет (это число изображается единицей с десятью миллиардами нулей). В таком случае ясно, что, хотя движение может быть в принципе обратимым, вероятность этого события столь мала, что практически мы можем пренебречь этой возможностью, особенно учитывая, что во всяком случае сосуды с газом не могли бы существовать столь длительное время.

С помощью описанного выше анализа можно понять наблюдаемую необратимость различных физических явлений, например теплопередачи, установления теплового и механического равновесия в жидкостях и т. д. Но еще остается нерешенной волнующая проблема, заключающаяся в том, что вышеприведенное сведение наблюдаемой обратимости некоторых крупномасштабных явлений к действиям случайности не устраняет факта необратимости фундаментальных уравнений движения, так что мы не получили ответа на вопрос о том почему процессы вообще должны обязательно идти лишь в одном направлении, поскольку другое направление принципиально возможно. Так, если бы все скорости, в том числе скорости изменения полей, удалось обратить с помощью действия чего-либо (например случайно), то тепло могло бы переходить от более низ-

ких температур к более высоким, вода могла бы течь обратно из моря к своим источникам в горах и т. д. Факт фантастической невероятности этих событий не умаляет принципиальности изложенной здесь проблемы, а именно возникают ли в действительности вообще необратимые действия с течением времени в столь широкой области явлений лишь из неупорядоченного смешивания по законам случая молекулярных или других типов движения, необратимость которых является принципиально возможной, но на практике слишком невероятной для того, чтобы ее можно было рассматривать как имеющую какое-либо реальное значение?

Однако, если учесть характер физических законов, из которых вытекает качественная бесконечность природы, мы сразу же сможем ответить на этот вопрос отрицательно, ибо, как мы видели, понятие закона, представляющего одно-однозначное математическое соответствие между вполне определенными переменными в прошлом и в будущем, является лишь абстракцией, достаточно хорошей для описания ограниченных областей явлений в течение ограниченных отрезков времени, но тем не менее не состоятельных для всех возможных областей в течение бесконечного времени. Так, как было указано в § 8, сами сущности, с которыми имеет дело в настоящее время физика, подчиняющиеся изученным современной физикой законам, должны были возникнуть в некоторый момент в прошлом, тогда как изменение условий, вызываемое отчасти действиями именно этих законов, а отчасти случайными второстепенными факторами, в конечном счете приведет к такому состоянию вселенной, в котором возникнут новые виды сущностей, подчиняющиеся новым видам законов. Рассматривая явления меньшего масштаба, мы видим также, что возникают новые уровни, например, уровень живой материи, на которых появляются новые характерные качества и новые законы. Таким образом, неограниченное распространение любой конкретной совокупности законов на все возможные области и на бесконечные отрезки времени не оправдано. Это означает, что описание законов природы как принципиально полностью обратимых является просто следствием чрезмерного упрощения действительности. Когда мы рассматриваем законы механики в соответствующих им кругах

явлений с вечно изменяющимися основными качествами, становится ясно, что происходят необратимые качественные изменения, которые не могут быть обратимы даже в принципе. Это вызывается тем, что для довольно сложных систем фундаментальный характер применяемых законов не может быть полностью отделен от исторического процесса, в ходе которого эти системы приобретают свои характерные свойства¹. Возможность такого поведения особенно ясна на примере живой материи, так как в данном случае способ бытия организма и основные качества и законы, определяющие этот способ бытия, возникают в процессе становления организма и проходят через различные стадии его жизни. Так, совершенно невозможно, чтобы человеческое существо стало человеческим существом, минуя процессы роста, эмбриональное развитие, детство, взрослое состояние и т. д. Но, если мы проанализируем процессы, происходящие в живой материи в течение достаточно длительных отрезков времени, мы обнаружим аналогичное поведение. Лишь в данном случае процесс протекает немного медленнее, так что абстракция, с помощью которой мы представляем себе материю как обладающую свойствами, не зависящими от ее конкретного исторического развития, обычно вполне приемлема, пока мы рассматриваем отрезки времени меньшие, чем миллиарды лет.

Важность рассмотрения противоречия качественных изменений с основными способами бытия вещей также можно видеть на примере предсказаний «тепловой смерти» вселенной, которые были в ходу особенно в конце XIX в. С «тепловой смертью» связывается предсказание о том, что в конце концов вследствие неупорядоченного перемешивания молекул температура вселенной должна выровняться, а поэтому по крайней мере в пределах значительных масштабов времени ничто не смогло бы возникать, так что вселенная должна была бы «умереть». Однако вполне возможны и действительно очень возможны задолго до того, как это произойдет, качественно новые открытия, отражающие неисчерпаемый и бесконечный характер процессов становления

¹ Конечно, это не может быть единственной причиной или даже главной причиной наблюдаемой в природе необратимости, но во всяком случае даже она одна должна вызывать необратимость.

вселенной, сделают предсказания указанного выше типа несостоятельными. Например, подобно тому, как молекулы, атомы, электроны и протоны не существовали вечно, дальнейшее развитие вселенной может привести также к прекращению их существования с течением времени и замене их чем-нибудь другим. И, даже если бы атомы, молекулы и т. д. продолжали существовать, могли бы возникнуть новые источники энергии в ходе бесконечного процесса становления. Так, в минувшем столетии были известны лишь механическая, химическая, тепловая, электрическая, световая и гравитационная энергии. Теперь мы знаем о существовании ядерной энергии, запасы которой намного больше. Но бесконечная внутренняя структура материи, весьма вероятно, содержит количество энергии, настолько большее количества ядерной энергии, насколько количество ядерной энергии больше количества химической энергии. Действительно, уже имеются некоторые доводы в пользу этой идеи. Так, если мы вычислим «нулевую» энергию, обусловленную квантовомеханическими флуктуациями даже в одном кубическом сантиметре пространства, то мы приходим к величине 10^{33} эрг, что равно энергии, освобождающейся при делении примерно 10^{10} т урана¹. Конечно, наличие этой энергии предполагает существование постоянного внешнего фона, который на нашем уровне и в настоящих условиях нельзя обнаружить. Но по мере изменения условий во вселенной, он может быть отчасти обнаружен на нашем уровне.

Качественно и количественно бесконечный процесс становления столь сложен, что он не только не может обратиться или прийти к окончательному равновесию какого-нибудь вида, но не может идти и циклически, так как, даже если законы, применимые в некоторых кругах явлений и при некоторых условиях, находились

¹ Действительно, согласно современным теориям, количество этой энергии бесконечно, но если предположить, что теория справедлива лишь для флуктуаций, имеющих длину волны не меньше порядка 10^{-13} см, то получается вышеприведенное значение энергии. Эта длина волны была выбрана потому, что обычно полагается, что современные теории квантовой электродинамики не справедливы для более коротких длин волн и их несправедливость приводит к тому, что действия квантовых флуктуаций становятся конечными. Таким образом, при очень грубой оценке, мы можем пренебречь эффектами, связанными с длинами волн короче 10^{13} см.

бы в согласии с циклическим развитием вселенной, такие законы никогда не учитывали бы бесконечного числа новых видов факторов, которые спустя длительное время стали бы важными при достаточном изменении условий. Если эти новые факторы и находятся в строгой координации с факторами, существующими в более ограниченных кругах явлений и при более ограниченной совокупности условий, они в конце концов разрушили бы цикл и внесли бы фундаментальные качественные изменения. Но вследствие своей относительной и приближенной самостоятельности эти факторы не были бы вообще координированы таким образом. Следовательно, циклическое поведение также не должно было бы находиться в согласии с характером вселенной, который мы здесь тщательно разъяснили.

В заключение мы можем сказать, что представление о качественной бесконечности природы означает, что развитие вселенной во времени приведет к неисчерпаемому разнообразию новых вещей.

§ 12. Абсолютная и относительная истины. Природа объективной реальности

Теперь мы подведем итоги развитых в этой главе, а фактически на протяжении всей книги представлений, рассматривая качественную бесконечность природы с точки зрения проблемы соотношения абсолютного и относительного характера истины и смысла понятия объективной реальности, который оно имеет в рамках этой точки зрения.

Для начала напомним, что мы пришли к пониманию природы как неисчерпаемой разнообразности и множественности вещей, которые все взаимосвязаны и необходимо участвуют в процессе становления, состоящем из бесконечного числа относительно независимых и противоречивых движений. В результате этого каждый вид вещи может быть лишь абстрагирован из этого процесса, причем эта абстракция верна лишь с некоторой степенью приближения в определенной области условий внутри ограниченного круга явлений и в течение характерного для нее отрезка времени. Очевидно, такая абстракция не может представлять собой абсолютную

истину, так как для этого она должна быть верной не-приближенно, безусловно во всех возможных кругах явлений и в любое время. Следовательно, любая конкретная теория будет приближительной, условной и относительной истиной.

Теперь мы можем задать вопрос: если любая данная теория может быть лишь приближенно, условно и относительно верна, означает ли это, что объективной реальности не существует? Для того чтобы увидеть, что это не так, нужно лишь задать следующий вопрос: «Произвольно ли поведение вещей?» Например, можем ли мы выбирать естественные законы, справедливые с некоторой степенью приближения и для конкретной совокупности условий по нашему желанию, сообразно с нашими вкусами, или для решения различного рода практических проблем мы нуждаемся еще в чем-то? Мы, конечно, не можем действовать таким образом, и это показывает, что законы имеют объективное содержание в том смысле, что они представляют собой необходимость некоторого рода, не зависимую от нашей воли и от того, как мы понимаем вещи. Это не означает, что мы не можем делать выбор по нашему желанию или нежеланию. Но если при этом выборе мы не руководствуемся понятиями, которые правильно отражают существующие в природе необходимые отношения, то следствия наших поступков, вообще говоря, не будут соответствовать нашему выбору, а скорее будут чем-то иным и зачастую совсем не тем, что мы ожидаем, если только мы знаем, что действительно должно явиться следствием наших поступков¹.

¹ Например, мы могли бы пожелать выпрыгнуть из окна и взвиться под небеса. Однако, если бы мы попытались сделать это, мы упали бы вниз. То же произошло бы, если бы мы руководствовались в наших действиях совокупностью представлений, которые заставили бы нас прийти к выводу о возможности взлететь вверх лишь с помощью размахивания руками и произнесения некоторых волшебных слов. В действительности, если мы желаем взлететь, мы должны иметь более глубокое и более точное представление о законах динамики и на основе этого создать подходящие для этого устройства, как, например, аэропланы, дирижабли, ракеты и т. д. Таким образом, в этом анализе законы природы не зависят от того, что мы о них думаем или что мы собираемся делать, и наши действия должны направляться правильным представлением об этих законах, если мы хотим, чтобы они привели к желаемым результатам.

Конечно, верно, что одни и те же естественные законы зачастую могут рассматриваться с помощью ряда совершенно различных видов мысленных абстракций. Так, в области классической физики мы одинаково успешно могли бы использовать абстракции, свойственные классической механике (например, частицы, движущиеся по орбитам, которые детерминированы определенными законами), или абстракции, свойственные квантовой механике (например, системы, существующие в дискретных состояниях, к которым применим закон вероятности), а затем ограничиться большим числом очень малых квантов. Какие из этих весьма различных процедур мы использовали в этой конкретной области, не имеет значения, потому что обе они привели бы в сущности к одинаковым результатам. Действительно, как мы указывали в главе I, § 10, различные возможные мысленные абстракции в данном случае играют роль различных точек зрения на различные стороны одной и той же основной реальности. *В той степени, в какой эти различные абстракции имеют общую область справедливости*, они должны приводить к одним и тем же следствиям (так же как различные точки зрения должны согласовываться друг с другом в области, которая является пересечением областей их справедливости).

Из предыдущего рассмотрения ясно, что необходимая составная часть определения степени истинности данного закона состоит в разграничении *области его справедливости*. Для завершения определения этой области мы должны найти *ошибки* в рассматриваемом законе, так как чем больше мы знаем об этих ошибках, тем лучше мы будем знать условия, круг явлений и степень приближения, в пределах которых мы можем правильно применять этот закон, и, следовательно, тем лучше мы будем знать его область справедливости.

Если бы существовала окончательная и исчерпывающая конкретизируемая система законов, которая представляет абсолютную истину, мы могли бы рассматривать все ошибки как чисто субъективные характеристики, являющиеся результатом неопределенности наших знаний относительно этой абсолютной истины. С другой стороны, с точки зрения представления о качественной бесконечности природы мы видим, что ка-

ждый закон, который мог бы быть сформулирован, должен вести к ошибкам просто потому, что он представляет природу с помощью некоторой конечной системы понятий, которые с необходимостью не могут учесть бесконечности дополнительных потенциально или действительно существенных качеств и свойств материи. Другими словами, с любым заданным законом должны быть связаны ошибки, которые являются существенными и объективными чертами этого закона, проистекающие из наличия множества различных факторов, которые не входят в среду действия этого закона¹. Таким образом, каждый закон неизбежно содержит в себе ошибки, которые являются столь же необходимой составной частью определения его истинного значения, как и ошибки, связанные с его следствиями, являющимися сами по себе правильными.

Из вышеприведенного обсуждения ясно, что научное исследование не приводит и не может привести к совершенно безошибочному познанию природы. Скорее оно приводит и может привести к бесконечному процессу, в ходе которого непрерывно увеличивается степень истинности наших знаний. Первый шаг в любой части этого процесса обычно осуществляется с помощью новых видов экспериментов и наблюдений или с помощью более точных форм уже известных видов экспериментов и наблюдений, которые служат средством обнаружения этих ошибок, неизбежно присутствующих на любой конкретной стадии развития наших теорий. Мы делаем затем следующий шаг, когда открываем новые законы, применимые в новых и более широких областях, к которым мы таким путем пришли, ибо, как мы видели на ряде примеров, рассмотренных в предыдущих главах², эти новые законы не только включают

¹ В § 6 мы рассмотрели частный случай существенного характера ошибок в законах природы. Таким образом, причинные законы неизбежно содержат в себе ошибки, являющиеся результатом того, что не учитываются случайные флуктуации, возникающие в кругах явлений, внешних по отношению к рассматриваемым данным причинным законам. Наоборот, законы случая должны содержать ошибки, являющиеся результатом того, что не учитываются причинные взаимосвязи, вносимые законами, справедливыми в более широких сферах явлений.

² Например, соотношение квантовой и классической теории, теории относительности и ньютоновской механики.

в себя более старые законы, справедливые в предельных случаях, но они помогают установить степень приближенности и условия, при которых будут действительно справедливы более старые законы. Таким образом, при дальнейшем прогрессе науки в новых областях мы можем все более и более детально и с разных сторон находить ошибки в более старых законах и таким путем разграничивать области справедливости этих законов все более точно и более полно.

Теперь, если бы мы смогли найти *все* без исключения ошибки в данном законе, мы могли бы узнать абсолютную истину относительно этого закона, так как мы узнали бы, когда, где и с какой степенью приближения он справедлив, так что мы никогда не сделали бы неправильные предсказания, используя его. Конечно, мы не можем полностью найти все ошибки в любом данном законе; и в результате мы никогда не достигнем абсолютной истины относительно рассматриваемого закона. Тем не менее во многих отраслях мы можем таким путем найти ошибки, достаточные для того, что мы можем сказать, что по крайней мере в конкретных областях, мы все ближе и ближе приближаемся к абсолютной истине (примерно так, как мы можем представить кривую фигуру путем вписывания в нее ряда многоугольников со все уменьшающимися сторонами и таким образом получить ряд последовательных приближений, сходящихся к определенному и ограниченному пределу).

Однако по отношению к природе в целом нельзя сказать, что этот непрерывный процесс обнаружения ошибки в наших теориях приводит нас через ряд последовательных приближений, сходящихся к некоторой фиксированной и ограниченной цели, которая представляет собой абсолютную истину, так как по мере прогресса науки мы находим, что процесс обнаружения ошибок в предшествующих теориях постепенно указывает на существование все большего и большего количества новых видов вещей, которые в кругах явлений и при условиях, изученных нами в определенный момент развития наших исследований, не являются существенными, но которые могут иметь решающую важность в новых кругах явлений и в новых условиях. В результате наша цель — абсолютная истина, применимая во

всех возможных кругах явлений и во всех условиях, — остается за новыми горизонтами, которые открываются перед нами по мере продолжения наших все более и более детальных и более разносторонних исследований неисчерпаемых характеристик природы. Верно, что в структуре вселенной нет ничего такого, что могло бы помешать нам в конечном счете в ходе этих исследований познать любую данную вещь. Действительно, по мере углубления нашего понимания взаимосвязей вещей мы сможем производить все больше измерений различного вида, которые позволят нам все глубже проникать в строение вселенной и которые все дальше выходят за пределы частной области пространства и времени, в центре которой существуем мы, так как эти отношения позволяют нам делать заключения о характере вещей, находящихся на различных уровнях или далеко от нас, на основе экспериментов и наблюдений за вещами, находящимися на нашем уровне и в области пространства и времени, непосредственно доступной нам. Таким образом, любой *данный* вид вещи является в принципе познаваемым. С другой стороны, независимо от того, каков будет прогресс даже всего человечества в целом, в течение любого конкретного отрезка времени, хотя и достаточно длительного, оно не сможет достичь или даже приблизиться к полному, идеальному и безусловному познанию реальности как целого. Так, по отношению к реальности в целом аналогия с приближенным представлением данной кривой фигуры с помощью набора уменьшающихся касательных не является удобной. Лучшей аналогией была бы частица, находящаяся в броуновском движении, путь которой может быть представлен лишь с некоторой степенью приближения, но который нужно рассматривать по мере нашего углубления с помощью все большего количества новых качеств и свойств, например, связанных с движущимися атомами и молекулами, квантовыми флуктуациями и т. д.

Однако, если бы мы остановились на этом пункте нашего анализа проблемы истины, мы должны бы были сосредоточить свое внимание на бесконечном многообразии и множественности вещей во вселенной и, таким образом, упустили бы из виду, как они связаны в качестве различных сторон единого мира, так как

мы стремились бы представить себе вещи и качества как расположенные одно за другим в бесконечной последовательности или как разбросанные по пространству совершенно хаотически. Для того чтобы представить мир как целое, мы должны исходить из представления о том, что основной реальностью является полная совокупность действительно существующей материи в процессе становления. Она является основной реальностью потому, что существует независимо, так что ни одна из ее характеристик не зависит от чего-либо еще, находящегося вне ее самой, ибо *полная совокупность* материи в процессе становления содержит, по определению, все существующее. Если мы обнаруживаем что-либо, находящееся вне любой данной составной части предмета нашего рассмотрения, это просто означает, что мы должны определить более широкую категорию, которая включает в себя как рассматриваемую вещь, так и находящиеся вне ее. Таким образом, хотя существование и характерные черты, определяющие способ бытия любой данной вещи, могут и в действительности должны несущественно зависеть от других вещей, существование и характерные черты, определяющие способ бытия бесконечной полной совокупности материи в процессе становления не могут от них зависеть, потому что все, от чего они могут несущественно зависеть, содержится, по определению, в этой полной совокупности.

Теперь мы подходим к вопросу о детальном определении этой полной совокупности материи в процессе становления. Под этим мы подразумеваем, что мы желаем конкретизировать ее основные свойства и качества и разграничить ее общие характерные черты.

В таком случае наиболее существенная и фундаментальная характеристика полной совокупности материи в процессе становления заключается как раз в том, что ее можно представить лишь с помощью неисчерпаемого ряда абстракций, причем каждая абстракция справедлива лишь приблизительно, в ограниченном круге явлений и условий и в течение не слишком коротких, не слишком длинных отрезков времени. Эти абстракции взаимосвязаны многими рационально познаваемыми отношениями. Таким образом, они представляют вещи, находящиеся во взаимных отношениях друг с другом, и каждая теория, выражающаяся через конкретный вид

абстракции, помогает определить области справедливости других теорий, выражающихся через другие виды абстракций. Существование всех этих отношений не вызывает удивления, поскольку каждая теория в любом случае является некоторым видом абстракции той же самой полной совокупности материи в процессе становления. И, наоборот, необходимость исчерпываемого ряда таких абстракций для все лучшего представления реальности как целого также не вызывает удивления при условии, что, как мы видели в § 9, эта реальность является конкретной, то есть содержит стороны, присущие только каждой вещи на всем протяжении ее существования.

Определение конкретных характеристик полной совокупности материи в процессе становления может быть неограниченно детально выражено через взаимосвязи вещей, которые можно абстрагировать из самого процесса, так как каждая существующая в этом процессе вещь может быть определена все более точно и во все более широких кругах явлений через ее взаимосвязи со все большим количеством других вещей. Это является основной причиной того, что изучение любой вещи проливает свет на другие вещи и, таким образом, в конечном счете приводит нас к более глубокому познанию ее собственных свойств. Действительно, если бы можно было определить полную совокупность всех возможных взаимосвязей между вещами, это позволило бы нам полностью определять материю в процессе становления, так как любая существующая вещь, включая все ее характерные свойства и качества, каждое происходящее событие и каждый закон, связывающий эти события и вещи, определяются только через такие взаимоотношения. А что еще можно узнать о материи в процессе становления, если исключить то, что не существует, не имеет свойств и качеств, не подчиняется законам, не происходит и которое поэтому является ничем? Конечно, как уже было указано, мы не можем в течение любого конечного отрезка времени, сколь угодно большого, познать все эти взаимные связи. Тем не менее чем больше мы узнаем о них, тем больше будем знать, что представляет собой материя в процессе становления, поскольку ее полная совокупность определяется лишь через полную совокупность всех таких связей.

В заключение мы можем получить непротиворечивое представление о характере абсолютной стороны природы, если мы будем исходить из рассмотрения бесконечной полной совокупности материи в процессе становления как основной реальности. Эта полная совокупность является абсолютной в том смысле, что ее существование и определение ее любых характеристик не зависят ни от чего больше. С другой стороны, именно это и может быть определено конкретно лишь с помощью взаимосвязей вещей, на которые она может быть приближенно разложена. Каждая связь содержит в себе некоторое абсолютное содержание, но это содержание должно, как мы видели, определяться все более и более точно с помощью более широких понятий и теорий, которые учитывают все большее и большее количество факторов, от которых эти связи зависят. Следовательно, даже несмотря на то, что способ бытия каждой вещи может быть определен лишь относительно других вещей, мы не приходим к точке зрения *полной относительности*, так как такая точка зрения означает, что наши знания вовсе не имеют объективного содержания, либо потому, что они предполагаются определенными *полностью* по отношению или к наблюдателю, или к общей точке зрения и конкретным условиям каждого индивидуума, либо по отношению к конкретным предвзятым мнениям или способам («стилю») мышления, которые могут существовать в конкретном обществе или в конкретную эпоху¹. В нашей точке зрения мы допускаем, что вышеупомянутые вещи накладывают отпечаток на наши знания и влияют на них; но мы также допускаем, что тем не менее существует абсолютная, единственная и объективная реальность. Для лучшего познания этой реальности и, следовательно, исправления и устранения некоторых предвзятых мнений и пробелов, которые неизбежно сопровождают наше познание в любое конкретное время, мы должны продолжать наши научные исследования, изучать более точно взаимосвязи этих

¹ Эта точка зрения лучше всего может быть охарактеризована предположением, что «относительность абсолютна». Другими словами, утверждается абсолютная истинность тезиса о том, что наши знания вовсе не имеют абсолютного содержания.

вещей и открывать все больше деталей, являющихся ограничениями применимости каждой конкретной совокупности понятий и законов. В таком случае сущность научного исследования заключается в движении по направлению к абсолютному через изучение относительного, во всем его неисчерпаемом многообразии.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие редактора</i>	5
<i>Предисловие</i>	9
<i>Предисловие к русскому изданию</i>	13
Глава I. Причинность и случайность в законах природы	17
§ 1. Введение	17
§ 2. Причинность в процессах природы	21
§ 3. Ассоциация и причинная связь	23
§ 4. Существенные причины из данной совокупности причин	26
§ 5. Более общие критерии для причинных отношений	30
§ 6. Причинные законы и свойства вещей	33
§ 7. Одно-многозначные и много-однозначные причинные отношения	38
§ 8. Несущественность, случайность и статистический закон	44
§ 9. Теория вероятностей	50
§ 10. Общее рассмотрение законов природы	55
§ 11. Заключение	61
Глава II. Причинность и случайность в классической физике. Философия механицизма	62
§ 1. Введение	62
§ 2. Классическая механика	63
§ 3. Философия механицизма	64
§ 4. Развитие классической физики по пути отхода от механицизма	69
§ 5. Волновая теория света	70
§ 6. Полевая теория	72
§ 7. О природе электромагнитного поля	74
§ 8. Полевые теории и механицизм	76
§ 9. Молекулярная теория теплоты и кинетическая теория газов	79
§ 10. О соотношении между микроскопическим и макроскопическим уровнем с точки зрения молекулярной теории	81
§ 11. Качественные и количественные изменения	85
§ 12. Случайность, статистический закон и вероятность в физике	88

§ 13.	Обогащение системы понятий классической физики и философия механицизма	91
§ 14.	Новая точка зрения на вероятность и статистический закон; индетерминистический механицизм	99
§ 15.	Краткий обзор механицизма	104
Глава III.	Квантовая теория	107
§ 1.	Введение	107
§ 2.	Возникновение квантовой теории	110
§ 3.	О проблеме причинного объяснения квантовой теории	122
§ 4.	Принцип индетерминированности	125
§ 5.	Отказ от причинности в области атомных явлений как следствие принципа индетерминированности	129
§ 6.	Отказ от понятия непрерывности в области атомных явлений	136
§ 7.	Отказ от всех определенных мыслимых моделей в микроскопической области. Принцип дополнительности	138
§ 8.	Критика выводов обычной интерпретации квантовой теории, следующих из принципа индетерминированности	142
§ 9.	Обычная интерпретация квантовой теории как форма индетерминистического механицизма	152
Глава IV.	Иные интерпретации квантовой теории	156
§ 1.	Введение	156
§ 2.	Общие рассмотрения субквантовомеханического уровня	158
§ 3.	Краткий исторический обзор иных интерпретаций квантовой теории	164
§ 4.	Конкретный пример иной интерпретации квантовой теории	166
§ 5.	Критика новой интерпретации квантовой теории	173
§ 6.	Дальнейшее развитие теории	175
§ 7.	Современный кризис в физике микромира	179
§ 8.	Преимущество новой интерпретации квантовой теории как руководящего принципа для исследований в новых областях	182
§ 9.	Иные интерпретации квантовой теории и философия механицизма	185
	Библиография	189
Глава V.	Более общее представление о естественном законе	190
§ 1.	Введение	190
§ 2.	Краткое изложение существенных характерных черт механистической философии	190
§ 3.	Критика философии механицизма	192
§ 4.	Точка зрения, выходящая за рамки механицизма	193
§ 5.	Более детальное изложение вопроса о качественной бесконечности природы	199

§ 6. Случайные и необходимые причинные взаимосвязи	204
§ 7. Взаимосвязи и приблизительный и относительный характер самостоятельности способов бытия вещей	208
§ 8. Процесс становления	212
§ 9. Об абстрактном характере понятия определенных и неизменяющихся способов бытия	220
§ 10. Причины недостаточности лапласовского детерминизма	228
§ 11. Обратимость и необратимость законов природы . .	231
§ 12. Абсолютная и относительная истины. Природа объективной реальности	236

Д. Б о м

ПРИЧИННОСТЬ И СЛУЧАЙНОСТЬ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

Редактор *В. Г. Виноградова*
 Технический редактор *Н. В. Зотова*

Художник *И. А. Литвинко*
 Корректор *Н. С. Лейвич*

Сдано в производство 25/II 1959 г. Подписано к печати 12/VI 1959 г.
 Бумага 84×108/32 = 3,9 бум. л. 12,7 печ. л. 13,1 уч.-изд. л. Изд. № 9/4557.
 Цена 9 р. 85 к. Зак. 199.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
 Москва, Ново-Алексеевская, 52.

Типография № 2 им. Евг. Соколовой УПП Ленсовнархоза.
 Ленинград, Измайловский пр., 29.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
18	20 снизу	он	оно
19	10 сверху	немного	намного
55	19 снизу	рассмотрениее	рассмотрение
187	1 снизу	механистической	механической
187	5 и 9 снизу	механистических	механических
187	12 снизу	механистические	механические
187	16 и 17 снизу	механистического	механического

