



NIELS BOHR

Atomic Physics
and
Human Knowledge

НИЛЬС БОР

Атомная физика
и
человеческое
познание

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
В. А. ФОКА и А. В. ЛЕРМОНТОВОЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1961

Редакция литературы по философским наукам

От редакции

Книга замечательного физика нашего времени Нильса Бора «Атомная физика и человеческое познание», которая выходит в свет в переводе академика Владимира Александровича Фока и А. В. Лермонтовой, без сомнения, вызовет интерес научной общественности и широких кругов читателей.

В собранных здесь статьях Н. Бор обращается не только к специалистам в области физики и философии, но ко всем, кто желает обдумать и обсудить большие и сложные теоретико-познавательные вопросы, волнующие автора как ученого-физика.

В настоящее время проблемы философского рассмотрения науки, проблемы связи науки и философии, методологии наук (в особенности таких наук, как физика, биология, химия, а также смежных областей) привлекают все большее внимание научной интеллигенции. Это внимание стимулируется бурным развитием науки, которая открывает все новые стороны действительности, расширяя наше представление о вселенной и закономерностях ее развития, подтверждая и обогащая диалектико-материалистическую картину мира.

Люди мировой науки, а Нильс Бор достойно представляет ее, продолжают поиски наиболее адекватных природе способов и методов отражения объективных закономерностей природы. На этом пути они неизбежно сталкиваются с философией. Не случаен, конечно, тот факт, что в фокусе всех высказываний и суждений датского ученого находятся проблемы теории познания.

По страницам данной книги читатель имеет возможность в определенной мере проследить эволюцию взглядов Н. Бора. Изменение этих взглядов, в особенности в плане философского истолкования современной физики, отражает свойственную не только автору данной книги, но и значительной части других ученых капиталистического мира переоценку ценностей: изменение

отношения к распространенным школам идеалистической философии, отход от догматических, агностических, ненаучных в конечном счете положений и требований этих школ, критику философского идеализма, в особенности позитивизма. Заметно также (особенно по ранним статьям автора), что проблемы, которые он пытался решить с помощью позитивистской философии, не поддаются решению при помощи установок этой философии.

Отказ от позитивистской (и неопозитивистской) методологии, критика этой методологии характеризуют в настоящее время взгляды большой группы ученых, которые еще недавно видели в неопозитивизме подлинную «философию науки».

Марксизм-ленинизм как научное мировоззрение противостоит позитивизму. Критика позитивизма в марксистско-ленинской философии имеет свои традиции, и в этой критике раскрывается непримиримое партийное отношение научной философии к любой разновидности идеализма.

Философским эталоном научной критики позитивизма является гениальный труд В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», открывший новую эпоху в творческом развитии диалектического материализма.

Книга Н. Бора «Атомная физика и человеческое познание», научные искания автора еще раз подтверждают идею В. И. Ленина, что современная физика необходимо обращается к диалектическому материализму, который является единственно возможной методологией всех частных наук.

Предисловие редактора

В настоящий сборник вошли работы датского физика Нильса Бора по вопросам, примыкающим к философии естествознания. Заслуги Бора, одного из основателей квантовой механики, одинаково велики как в установлении конкретных физических законов в области микромира, так и в установлении общих принципов описания явлений в этой области. Бору принадлежит решающий шаг в разработке правильной интерпретации корпускулярно-волнового дуализма (волна-частица). Особенный интерес в этом отношении представляют включенные в настоящий сборник статьи Бора «Дискуссии с Эйнштейном» и «Квантовая физика и философия».

Большинство вошедших в этот сборник работ Бора составляют его выступления, предназначенные для нефизиков (медиков, биологов и представителей гуманитарных наук). В этих выступлениях Бор затрагивает, помимо вопросов физики, некоторые общие вопросы данной области знания. Основная мысль Бора состоит в том, что философское обобщение результатов, полученных в физике, расширяет наш умственный горизонт и тем самым помогает пониманию явлений в других областях естествознания.

Философская идея, которая больше всего занимает Бора, есть идея о дополнительности между разными аспектами явлений. По нашему мнению, эту «дополнительность» можно рассматривать как одно из следствий общего положения о материальном характере акта наблюдения. Это положение, конечно, применимо не только в физике, но и в других науках. Но в физике оно уточняется путем введения соответствующих абстракций (например, волновой функции), связанных с понятиями потенциальной возможности и вероятности, тогда как в биологии такого уточнения, по-видимому, еще не сделано. (Здесь я должен оговориться, что, не будучи биологом, я не мог судить об этих вопросах.) Во всяком

случае, рассуждения Бора, столь ясные и убедительные, когда он говорит о физике, становятся гораздо менее конкретными, когда он говорит о других науках. Это особенно относится к статье «Философия естествознания и культуры народов».

Как указывает и сам Бор в своем введении, по его статьям и выступлениям, вошедшим в этот сборник, можно проследить постепенное уточнение в его аргументации и терминологии. Необходимо добавить, что эта эволюция неизменно идет в сторону материализма. Если в первых статьях Бор высказывается против принципа причинности, то в статье «Квантовая физика и философия» он строго разделяет причинность и однозначную детерминированность и прямо говорит, что лишь эта последняя не имеет места в квантовой физике, тогда как причинность остается. Если в первых работах Бора часто встречаются ссылки на наблюдателя и говорится о том, что знает и чего не знает наблюдатель, то в последних своих работах, а также в предисловии Бор подчеркивает, что основная задача теории есть *объективное* описание опытных фактов. Можно было бы указать и другие уточнения, которые свидетельствуют о том, что нынешние взгляды Бора, во всяком случае, далеки от позитивизма.

В русское издание сборника включены также две работы Бора, не вошедшие в английское издание 1957 г.

Печатаемый сборник работ Бора по принципиальным вопросам естествознания, несомненно, представит большой интерес для широкого круга советских читателей — не только физиков, биологов и философов, но и для всех лиц, интересующихся общими вопросами естествознания.

Акад. В. Фок

Январь 1961 г.

Предисловие автора

Этот сборник статей, написанных по разным поводам в течение последних 25 лет, представляет продолжение более ранних очерков, собранных в книге, озаглавленной «Атомная теория и описание природы»¹. Темой статей является теоретико-познавательный урок, преподанный нам современным развитием атомной физики, и его значение для анализа и синтеза во многих областях человеческого знания. Статьи, вошедшие в предыдущий сборник, написаны в то время, когда установленные математических методов квантовой механики создали твердое основание для непротиворечивой трактовки атомных явлений, а условия для однозначного описания опытных фактов на этой основе были характеризованы понятием дополненности. В собранных здесь статьях логическая формулировка этого подхода развита дальше и ему дается более широкое применение. Конечно, нельзя было избежать многих повторений, но мы надеемся, что самые эти повторения могут послужить для иллюстрации того, как наша аргументация постепенно становится яснее, особенно в отношении более четкой терминологии.

При развитии излагаемых здесь взглядов для меня были очень ценны дискуссии с бывшими и настоящими сотрудниками Института теоретической физики Копенгагенского университета. За помощь при обработке этих статей я особенно благодарен Оскару Клейну и Леону Розенфельду, в настоящее время находящимся в Оклахомском и Манчестерском университетах, а также Стефану Розенталю и Оге Петерсену из Копенгагенского института. Я также хотел бы выразить благодарность г-же С. Хеллманн за весьма эффективную помощь при подготовке статей настоящего издания.

Копенгаген, август 1957 г.

Нильс Бор

¹ «Atomic Theory and the Description of Nature», Cambridge University Press, 1934.

Предисловие автора к русскому изданию

Мне доставляет большое удовольствие, что это собрание моих работ стало доступно русскому читателю. Я особенно признателен моему старому другу академику Фоку, всегда проявлявшему такой активный интерес к обсуждаемым здесь проблемам, за его инициативу в организации русского издания моих работ и за взятый им на себя тяжелый труд по их переводу.

Копенгаген,
март, 1961 г.

Н. Бор

Введение

Важное значение физической науки для развития общего философского мышления основано не только на ее вкладе в наше непрерывно возрастающее познание той природы, частью которой мы являемся сами; физическая наука важна и тем, что время от времени она давала случай пересматривать и улучшать нашу систему понятий как орудие познания. В нашем столетии изучение атомного строения материи обнаружило неожиданное ограничение области применимости классических физических идей и пролило новый свет на содержащиеся в традиционной философии требования к научному объяснению. Необходимый для понимания атомных явлений пересмотр основ и предпосылок однозначного применения наших элементарных понятий имеет поэтому значение, выходящее далеко за пределы одной только физической науки.

Главное содержание урока, преподанного нам развитием атомной физики, состоит, как известно, в признании свойства цельности и неделимости атомных процессов, обнаруженного благодаря открытию кванта действия. Предлагаемые статьи освещают наиболее существенные стороны ситуации в квантовой физике; в то же время они указывают на черты сходства между этой ситуацией и положением и других областях знаний.

выходящих за пределы механистического представления о природе. Мы не рассматриваем здесь какие-либо туманные аналогии, а исследуем условия для надлежащего применения слов и понятий, выражающих наши опытные знания. Такие рассуждения имеют целью не только ознакомление с новой ситуацией в физической науке; ввиду сравнительно простого характера атомных проблем они могут оказаться полезными и для разъяснения предпосылок объективного описания в более широких областях знания.

Хотя собранные здесь семь¹ статей, таким образом, тесно связаны между собой, они распадаются на три отдельные группы, относящиеся к 1932—1939, 1949 и 1955—1957 гг. Первые три статьи прямо связаны со статьями прежнего сборника; в них обсуждаются биологические и антропологические проблемы, относящиеся к свойствам целостности, характерным для живых организмов и человеческих культур. Конечно, в этих статьях я ни в какой мере не пытаюсь дать исчерпывающее обсуждение этих тем, но лишь указываю, какими представляются эти проблемы на фоне общего урока атомной физики.

Четвертая статья касается дискуссии между физиками о проблемах теории познания, поставленных квантовой физикой. По характеру самой темы нельзя было избежать некоторых ссылок на математический аппарат, но для понимания аргументации не требуется специальных знаний. Споры привели к разъяснению новых сторон проблемы наблюдения, обусловленных тем обстоятельством, что взаимодействие между атомными объектами и измерительными приборами составляет неотъемлемую часть квантового явления. Поэтому данные, полученные в различных экспериментальных установках, не могут быть объединены в том смысле, как обычно; необходимость принимать во внимание условия, при которых получены те или иные опытные данные, прямо требует дополнительного способа описания.

Последняя группа статей тесно связана с первой, но я надеюсь, что уточненная терминология, которой я в них пользуюсь, чтобы изобразить ситуацию в квантовой

¹ Последние две статьи настоящего сборника, содержащего девять статей, в английское издание 1958 г. не вошли. — *Прим. ред.*

физике, сделала общую идею и общий ход рассуждения доступнее. Прилагая эти идеи к более широкой области, я делаю особый упор на предпосылки для однозначного применения понятий, используемых при описании опытных фактов. Самая суть аргументации состоит в том, что для объективного описания и гармоничного охвата опытных фактов необходимо почти во всех областях знания обращать внимание на обстоятельства, при которых эти данные получены.

Свет и жизнь

1932

Как физик, чьи исследования ограничиваются свойствами неодушевленных тел, я не без колебаний принял любезное приглашение выступить с речью перед этим собранием ученых, которые встретились для того, чтобы способствовать нашему познанию благотворного действия света при лечении болезней. Будучи не в состоянии внести новое в эту прекрасную отрасль науки, столь важную для благосостояния человечества, я мог бы самое большее поговорить о чисто неорганических световых явлениях, которые во все времена особенно привлекали к себе физиков хотя бы потому, что свет является нашим главным орудием наблюдения. Однако я подумал, что в данном случае, может быть, будет интереснее рассмотреть в таком обсуждении вопрос о том, насколько результаты, достигнутые в более ограниченной области, а именно в физике, могут повлиять на наши взгляды на положение, занимаемое живыми организмами внутри общего здания естественных наук. Несмотря на утонченный и неуловимый характер загадок жизни, эта проблема возникала на каждой стадии развития науки, поскольку самое существо научного объяснения состоит в разложении более сложных явлений на более простые. В данный момент этой старой проблеме придает новый интерес то обстоятельство, что недавнее развитие атомной теории выявило существенную ограни-

ченность механистического описания явлений природы. Это развитие как раз и началось с более пристального изучения взаимодействия между светом и материальными телами; оказалось, что некоторые особенности этого взаимодействия несовместимы с известными требованиями, выполнение которых всегда считалось обязательным для всякого физического объяснения. Как я попытаюсь показать, усилия физиков овладеть положением в какой-то мере похожи на позицию биологов, которую те всегда занимали более или менее интуитивно перед проявлениями жизни. Тем не менее я хочу сразу же подчеркнуть, что аналогия между светом и жизнью существует только в этом чисто формальном отношении, поскольку свет является, пожалуй, наименее сложным из всех физических явлений, а жизнь представляет такое необозримое разнообразие, что едва поддается научному анализу.

С физической точки зрения свет можно определить как передачу энергии на расстоянии между материальными телами. Такие эффекты находят себе, как известно, простое объяснение в рамках электромагнитной теории, которую можно считать рациональным расширением классической механики, пригодным для того, чтобы смягчить контраст между действием на расстоянии и действием при соприкосновении. По этой теории свет представляет электрические и магнитные колебания, связанные между собой и отличающиеся от обычных радиоволн только большей частотой колебаний и меньшей длиной волны. В самом деле, практически прямолинейное распространение света, на котором основана локализация тел прямым видением или с помощью оптических приборов, всецело зависит от малости длины волны по сравнению с размерами рассматриваемых тел, а также приборов. В то же время волновой характер распространения света важен в двух отношениях. Он не только дает основу для объяснения цветовых явлений, которые благодаря спектроскопии дали столь важную информацию о строении материальных тел; волновой характер света существенно важен также и для всякого тонкого анализа оптических явлений. В качестве типичного примера я упомяну лишь об интерференционных полосах, которые возникают, если свет от одного источника может идти к экрану двумя различными

путями. Здесь мы видим, что эффекты, которые были бы вызваны каждым из двух лучей света в отдельности, усиливаются в тех точках экрана, где фазы обоих цугов волн совпадают, т. е. там, где электрические и магнитные колебания обоих лучей имеют одинаковое направление, тогда как эффекты ослабляются и могут даже совсем исчезнуть в тех точках, где направления этих колебаний противоположны, т. е. там, где оба цуга волн находятся, как говорят, в противофазе. Эти интерференционные полосы представляют такую убедительную проверку волновой картины распространения света, что ее уже нельзя рассматривать как гипотезу в обычном смысле этого слова; эту картину надлежит считать адекватным отчетом о наблюдаемых явлениях.

Несмотря на это, в недавние годы проблема природы света подверглась, как вы все знаете, новому обсуждению в связи с обнаружением в механизме передачи энергии важного свойства атомистичности, совершенно непонятного с точки зрения электромагнитной теории. Действительно, всякая передача энергии светом может быть прослежена вплоть до индивидуальных актов, в каждом из которых передается так называемый световой квант; энергия его равна произведению частоты электромагнитных колебаний на квант действия (постоянную Планка). Очевидная противоположность между такого рода атомистичностью светового эффекта и вытекающей из электромагнитной теории непрерывностью распространения энергии ставит перед нами дилемму такого характера, какой до сих пор не был известен в физике. Так, несмотря на явную недостаточность волновой картины распространения света, не может быть и речи о замене ее какой-нибудь другой картиной, которая опиралась бы на обычные механистические понятия. Следует особо подчеркнуть, что световые кванты не могут рассматриваться как частицы, которым можно было бы приписать точно определенный путь в смысле обычной механики. Если бы мы, желая убедиться в том, что световая энергия идет только по одному из двух путей между источником и экраном, задержали один из лучей непрозрачным телом, то интерференционные полосы исчезли бы начисто; совершенно так же и в любом явлении, для которого существенна волновая природа света, невозможно проследить

путь индивидуального светового кванта, не нарушая существенно само исследуемое явление. Действительно, пространственная непрерывность распространения света в нашей картине и атомистичность световых эффектов являются дополнительными аспектами одного и того же явления. Дополнительность мы понимаем в том смысле, что оба аспекта отображают одинаково важные свойства световых явлений, причем эти свойства не могут вступать в явное противоречие друг с другом, поскольку более подробный анализ их на основе понятий механики потребовал бы взаимно исключающих экспериментальных установок. В то же время самая эта ситуация заставляет нас отказаться от полного причинного описания световых явлений и удовольствоваться вероятностными законами, основанными на том факте, что электромагнитное описание передачи энергии остается справедливым в статистическом смысле. Последнее заключение представляет типичное приложение так называемого принципа соответствия, выражающего стремление до предела использовать понятия классических теорий — механики и электродинамики, — несмотря на противоположность между этими теориями и квантом действия.

На первый взгляд такая ситуация может показаться крайне неприятной. Но в науке и раньше случалось, что новые открытия приводили к установлению существенных ограничений для понятий, которые до тех пор считались не допускающими исключений. В таких случаях нас вознаграждает приобретение более широкого кругозора и более широких возможностей устанавливать связь между явлениями, которые прежде могли казаться даже противоречащими друг другу. И в самом деле, ограничение классической механики, символизируемое квантом действия, дало нам ключ к пониманию свойственной атомам устойчивости, на которой существенно основано механистическое описание природы. Конечно, фундаментальной чертой атомной теории всегда была невозможность понять неделимость атомов, оставаясь в рамках механических понятий; это положение практически не изменилось и после того, как неделимость атомов была заменена неделимостью электронов и протонов, из которых построены атомы и молекулы. Но я говорил выше не об устойчивости, свойственной этим элементарным частицам, а об устойчивости состоящих из

них атомных структур. Если мы подойдем к этой проблеме с точки зрения механики или электромагнитной теории, то мы не найдем достаточной основы для объяснения не только характерных свойств элементов, но даже и самого существования твердых тел (а на них в конечном счете опираются все измерения, служащие для локализации явлений природы в пространстве и времени). Эти затруднения теперь преодолены благодаря признанию того факта, что всякое поддающееся определению изменение атома есть индивидуальный акт, состоящий в полном переходе атома из одного его так называемого стационарного состояния в другое. Кроме того, раз в процессе перехода, в котором атом поглощает или испускает свет, происходит обмен только одним световым квантом, мы можем при помощи спектроскопических наблюдений непосредственно измерить энергию каждого из этих стационарных состояний. Полученные таким образом сведения были весьма убедительно подтверждены изучением того обмена энергией, который происходит при атомных столкновениях и при химических реакциях.

За последние годы произошло поразительное развитие атомной механики в направлении, указанном принципом соответствия. Благодаря этому наше теоретическое отображение (account) свойств атомов стало столь же полным, как отображение астрономических данных ньютоновой механикой. Несмотря на всю сложность общих проблем атомной механики, для ее развития оказался чрезвычайно важным урок, преподанный нам анализом более простых световых эффектов. Так, между однозначным применением понятия стационарных состояний и механическим анализом внутриатомных движений существует то же соотношение дополнительности, какое существует между световым квантом и электромагнитной теорией излучения. Действительно, всякая попытка подробно проследить, как протекает процесс перехода, повлекла бы за собой неконтролируемый обмен энергией между атомом и измерительным прибором, что совершенно нарушило бы тот самый баланс энергии, который мы собирались исследовать. Причинное согласование опытных данных по законам механики выполнимо только в тех случаях, где действие велико по сравнению с квантом и где поэтому возможно

подразделение явления. Если это условие не выполнено, то нельзя пренебрегать действием измерительного прибора на исследуемый объект; действие же это влечет за собой несовместимость различных типов информации, которые все необходимы для полного механистического описания в обычном смысле. Эта кажущаяся неполнота механического анализа атомных явлений в конечном счете происходит от присущей всякому измерению неопределенности в реакции объекта на измерительные приборы. Напомним, что общее понятие относительности выражает существенную зависимость всякого явления от системы отсчета, которой пользуются для его локализации в пространстве и времени. Подобно этому, понятие дополненности служит для того, чтобы символизировать имеющееся в атомной физике существенное ограничение понятия объективно существующего явления в смысле явления, не зависящего от способов его наблюдения.

Этот пересмотр основ механики, затрагивающий самое понятие физического объяснения, не только важен для полного понимания положения в атомной физике, но и создает новый фон для дискуссии о проблемах жизни в их связи с физикой. Это никоим образом не значит, что в атомных явлениях мы встречаем черты более близкого сходства со свойствами живых организмов, чем это наблюдается в обычных физических явлениях. На первый взгляд может показаться, что существенно статистический характер атомной механики противоречит поразительно утонченной организации живых существ. Однако мы должны помнить, что как раз этот дополнительный способ описания и оставляет место для тех закономерностей атомных процессов, которые чужды механике; он столь же важен для нашего отчета о поведении живых организмов, как и для объяснения специфических свойств неорганической материи. Так, в ассимиляции растениями углерода, от которой так сильно зависит также и питание животных, мы имеем дело с явлением, для понимания которого, несомненно, существенно индивидуальность фотохимических процессов. Точно так же немеханическая устойчивость атомных структур явно проявляется в характерных свойствах таких очень сложных химических соединений, как хлорофилл или гемоглобин, играющих фундаментальную роль в механизме растительной ассимиляции и в дыха-

нии животных. Однако аналогии из области обычных химических фактов, вроде старого сравнения жизни с огнем, дадут, конечно, не более удовлетворительное объяснение живых организмов, чем дает их сопоставление с таким чисто механическим устройством, как часовой механизм. В самом деле, важные характерные особенности живых существ надо искать в их своеобразной организации, в которой свойства, поддающиеся анализу на основе обычной механики, так переплетаются с типично атомными чертами, как никогда не бывает в неорганической материи.

Поучительный пример того, до какой степени развития эта организация, представляет устройство и работа глаза; при его исследовании тоже была крайне полезна простота световых явлений. Мне незачем входить здесь в подробности, и я лишь напомню вам, что офтальмология раскрыла нам идеальные свойства человеческого глаза как оптического прибора. Действительно, предел, налагаемый на образование изображения неизбежными эффектами интерференции, практически совпадает с размерами тех частиц сетчатой оболочки, которые имеют самостоятельные нервные связи с мозгом. Для получения зрительного впечатления достаточно поглощения единичного светового кванта каждой такой частицей; поэтому можно сказать, что чувствительность глаза достигает предела, поставленного атомным характером световых процессов. Эффективность глаза в обоих этих отношениях фактически такая же, какую мы получаем в хорошем телескопе или микроскопе, соединенном с усилительным устройством, позволяющим наблюдать индивидуальные процессы. Правда, такими приборами можно сильно увеличить нашу наблюдательную способность, но благодаря пределам, поставленным фундаментальными свойствами световых явлений, невозможно придумать прибор, который был бы эффективнее глаза для той цели, для которой он предназначен. Это идеальное совершенство глаза, открытое благодаря недавнему развитию физики, наводит на мысль, что и другие органы, служат ли они для восприятия информации от окружающей среды или же для реакции на ощущения, тоже обнаружат такую же приспособленность к своему назначению и что также и здесь свойство индивидуальности, символизируемое квантом действия,

имеет решающее значение для работы соответствующего усилительного механизма. Тот факт, что этот предел можно было проследить в глазу, но что его до сих пор не удалось заметить ни в одном из других органов, связан исключительно с простотой световых явлений, о которой мы говорили выше.

Признание важного значения черт атомистичности в механизме живых организмов само по себе не является, однако, достаточным для всестороннего объяснения биологических явлений. Исходный вопрос состоит, таким образом, в том, не следует ли добавить к нашему анализу явлений природы еще какие-то недостающие пока фундаментальные идеи, прежде чем мы сможем достигнуть понимания жизни на основе физического опыта. Несмотря на тот факт, что многообразие биологических явлений практически неисчерпаемо, едва ли можно дать ответ на этот вопрос, не обсудив, какой смысл следует придавать понятию «физическое объяснение» — смысл еще более глубокий, чем тот, к которому нас уже принудило открытие кванта действия. С одной стороны, поразительные свойства, которые постоянно обнаруживаются при физиологических исследованиях и которые столь заметно отличаются от всего, что известно для неорганической материи, привели биологов к убеждению, что надлежащее понимание существенных сторон жизни в рамках чистой физики невозможно. С другой стороны, точка зрения, известная как витализм, едва ли может быть однозначно выражена в форме предположения, что существует какая-то особая, не известная физике жизненная сила, которая и управляет органической жизнью. Действительно, я думаю, мы все согласны с Ньютоном: самый глубокий фундамент науки — это уверенность в том, что в природе одинаковые явления наступают при одинаковых условиях. Поэтому если бы мы могли продвинуть анализ механизма живых организмов столь же далеко, как это сделано для атомных явлений, то мы едва ли бы нашли тогда какие-то свойства, чуждые неорганической материи. Рассматривая эту дилемму, мы должны, однако, помнить, что нельзя непосредственно сравнивать условия при биологических и при физических исследованиях, так как необходимость сохранить объект исследования живым налагает на первые ограничение, не имею-

шее себе подобного в последних. Так, мы, без сомнения, убили бы животное, если бы попытались довести исследование его органов до того, чтобы можно было сказать, какую роль играют в его жизненных отправлениях отдельные атомы. В каждом опыте над живыми организмами должна оставаться некоторая неопределенность в физических условиях, в которые они поставлены; возникает мысль, что минимальная свобода, которую мы вынуждены предоставлять организму, как раз достаточна, чтобы позволить ему, так сказать, скрыть от нас свои последние тайны. С этой точки зрения самое существование жизни должно в биологии рассматриваться как элементарный факт, подобно тому как в атомной физике существование кванта действия следует принимать за основной факт, который нельзя вывести из обычной механической физики. Действительно, существенная несводимость факта устойчивости атомов к понятиям механики представляет собой близкую аналогию с невозможностью физического или химического объяснения своеобразных отравлений, характеризующих жизнь.

Проводя эту аналогию, мы должны, однако, помнить, что в атомной физике и в биологии мы имеем дело с существенно различными проблемами. Если в первой области мы интересуемся прежде всего поведением материи в ее самых простых формах, то в биологии мы занимаемся материальными системами, сложность которых имеет фундаментальный характер, ибо даже самые примитивные организмы содержат большое число атомов. Правда, то обстоятельство, что обычная механика применима в обширной области, включая описание действия измерительных приборов, используемых в атомной физике, как раз и основано на возможности в широкой мере пренебрегать порождаемой квантом действия дополнительностью описания в тех случаях, когда мы имеем дело с телами, содержащими большое число атомов. Однако, несмотря на важное значение атомистичности, для биологических исследований типично, что мы никогда не можем контролировать внешние условия, в которые поставлен каждый отдельный атом, в той же мере, в какой это возможно при фундаментальных опытах атомной физики. Фактически мы даже не можем сказать, которые именно из атомов действи-

тельно принадлежат живому организму, так как всякое жизненное отправление сопровождается обменом веществ, благодаря которому атомы постоянно захватываются организацией, составляющей живое существо, и из нее выбрасываются. Действительно, этот обмен материей распространяется на все части живого организма до такой степени, что это препятствует резкому разграничению в атомном масштабе между теми его свойствами, которые можно однозначно учесть обычной механикой, и теми, для которых решающим является учет кванта действия. Это фундаментальное различие между физическими и биологическими исследованиями означает, что нельзя поставить четко определенный предел применимости физических идей к проблемам жизни — предел, которому соответствовала бы в атомной механике разница между областью причинного механистического описания и собственно квантовыми явлениями. Эта очевидная неполнота рассматриваемой аналогии коренится в самих определениях слов «жизнь» и «механика», которые в конце концов являются вопросом удобства. С одной стороны, вопрос об ограниченной применимости физики в биологии потерял бы всякий смысл, если бы мы распространили понятие жизни на все явления природы вместо того, чтобы устанавливать различия между живыми организмами и неодушевленными телами. С другой стороны, если бы в согласии с обычным языком мы сохранили слово «механика» для однозначного причинного описания явлений природы, то такой термин, как «атомная механика», стал бы бессмысленным. Я не буду углубляться дальше в такие чисто терминологические вопросы и только добавлю, что сущность рассматриваемой аналогии — это очевидное антагонистическое отношение между такими типичными сторонами жизни, как самосохранение и размножение индивидуумов, с одной стороны, и необходимое для всякого физического анализа подразделение объекта — с другой. Благодаря этой важной черте дополнительно понятие цели, чуждое механистическому анализу, находит некоторую область приложения в биологии. В самом деле, в этом смысле телеологическую аргументацию можно рассматривать как законную черту физиологического описания, должным образом учитывающую характерные свойства жизни, подобно тому как в атом-

ной физике: признание кванта действия учитывается принципом соответствия.

Обсуждая применимость чисто физических идей к живым организмам, мы, конечно, подходим к жизни совершенно так же, как и к любому другому явлению материального мира. Мне, однако, едва ли нужно подчеркивать, что эта позиция, характерная для биологических исследований, отнюдь не предполагает игнорирования психологической стороны жизни. Наоборот, признание ограниченности механистических понятий в атомной физике скорее может быть полезным для примирения как бы противоречащих друг другу точек зрения физиологии и психологии. В самом деле, необходимость вводить в рассмотрение взаимодействие между измерительными приборами и объектом исследования в атомной механике представляет близкую аналогию со своеобразными трудностями психологического анализа, проистекающими от того факта, что духовное содержание неизбежно меняется, если внимание сосредоточивается на какой-нибудь его определенной стороне. Мы бы ушли слишком далеко от нашего предмета, если бы стали распространяться об этой аналогии, дающей существенное разъяснение психо-физическому параллелизму. Однако я бы хотел подчеркнуть, что рассуждения такого рода, как я здесь приводил, совершенно противоположны всяким попыткам искать в статистическом описании атомных явлений новые возможности для духовного влияния на поведение материи. Например, с нашей точки зрения, невозможно придать однозначный смысл высказываемому иногда взгляду, согласно которому вероятность того, что в теле произойдут некоторые атомные процессы, может находиться под непосредственным влиянием воли. В самом деле, согласно обобщенному толкованию психо-физического параллелизма, свободу воли следует считать признаком сознательной жизни; свобода воли соответствует отправлениям организма, не только ускользающим от причинно-механистического описания, но не поддающимся даже и физическому анализу в той доведенной до предела форме, какая требуется для однозначного применения статистических законов атомной механики. Не пускаясь в метафизические спекуляции, я, пожалуй, мог бы добавить об анализе самого понятия объяснения следующее:

альфой и омегой такого анализа должен быть отказ от объяснения нашей собственной сознательной деятельности.

В заключение мне едва ли нужно особо подчеркивать, что ни в одном из своих замечаний я не имел в виду выразить какой-либо скептицизм по отношению к будущему развитию физической и биологической наук. Такой скептицизм и в самом деле был бы далек от мыслей физиков в настоящее время, когда именно признание ограниченного характера наших самых основных понятий привело нас к такому замечательному развитию нашей науки. Точно так же и отказ от объяснения жизни не помешал удивительному прогрессу во всех отраслях биологии, включая те, которые оказались столь полезными в искусстве врачевания. Даже если мы не можем провести резкой грани между здоровьем и болезнью, для скептицизма, конечно, нет места и в той специальной области, которая является предметом этого конгресса. Не следует только сворачивать с большой дороги прогресса, по которой с таким успехом шли ученые, начиная с основополагающих работ Финзена¹, и которая характеризуется самым тесным сочетанием между изучением лечебных эффектов светотерапии и изучением физических ее сторон.

¹ Нильс Финзен (1860—1904) — датский медик и биолог, известный своими исследованиями по светотерапии. — *Прим. ред.*

Биология и атомная физика

1937

Бессмертные труды Гальвани, открывшие новую эпоху во всех областях науки, представляют блестящую иллюстрацию чрезвычайной плодотворности тесного сочетания исследований законов неживой природы с изучением свойств живых организмов. В настоящем докладе было бы поэтому уместно сделать обзор того, как на протяжении столетий ученые смотрели на вопрос о связи между физикой и биологией, и в особенности обсудить перспективы, созданные в этом отношении необычайным развитием атомной теории за последние годы.

Уже на заре науки атомная теория была в центре внимания в связи со стремлением достигнуть всеобъемлющего представления о великом разнообразии явлений природы. Так, уже Демокрит, с такой глубокой интуицией настаивавший на необходимости атомизма для всякого рационального объяснения обыкновенных свойств материи, как известно, пытался использовать атомистические идеи также и для объяснения своеобразия органической жизни и даже человеческой психологии. Фантастический характер таких крайних материалистических представлений вызвал естественную реакцию у Аристотеля, в совершенстве владевшего всеми современными ему познаниями в физике и биологии;

эта реакция привела его к полному отрицанию атомистической теории и к попытке создать на основе идей, которые по существу являются телеологическими, систему достаточно широкую, чтобы учитывать все богатство явлений природы. Преувеличения в учении Аристотеля были в свою очередь ясно выявлены в результате постепенного ознакомления с элементарными законами природы, справедливыми как для неодушевленных тел, так и для живых организмов.

Если думать о том, как были установлены принципы механики, которые в дальнейшем должны были стать фундаментом физической науки, то в этой связи интересно уяснить себе, что открытие Архимедом принципа равновесия плавающих тел, согласно хорошо знакомой легенде, подсказанное ему ощущением легкости его тела, погруженного в ванну, могло точно так же возникнуть и на основании обыденного опыта, относящегося к потере в весе камня, опущенного в воду. Точно так же следует считать совершенно случайным, что Галилей пришел к открытию фундаментальных законов динамики, наблюдая, как качается люстра в прекрасном Пизанском соборе, а не глядя на ребенка на качелях. Однако для растущего понимания существенного единства принципов, управляющих явлениями природы, такие чисто внешние аналогии имели лишь мало значения по сравнению с глубоко коренящимся сходством между живыми организмами и техническими механизмами; это сходство было вскрыто при изучении анатомии и физиологии, которое так интенсивно велось в эпоху Возрождения, особенно здесь, в Италии.

Перспективы, открывшиеся благодаря успеху нового экспериментального подхода к философии естествознания, были встречены с энтузиазмом; этот энтузиазм в одинаковой мере поддерживался как расширением картины вселенной, которым мы обязаны проницательности Коперника, так и разъяснением механизма кровообращения в телах животных, начало которому положило великое достижение Гарвея. Пожалуй, ярче всего этот энтузиазм выразился в трудах Борелли, которому удалось разъяснить с такими тонкими подробностями функции скелета и мышц при движениях животных. Классический характер этих трудов нисколько не умаляется попытками самого Борелли и его последователей

объяснить также и нервную деятельность и секрецию желез при помощи примитивных механических моделей; их очевидная произвольность и грубость вскоре вызвали общую критику, о которой до сих пор напоминает полу-ироническое прозвище «ятро-физиков»¹, присвоенное школе Борелли. Здоровое в корне стремление приложить к физиологическим процессам все увеличивающиеся познания в области типично химических превращений, нашедшее такого восторженного представителя в лице Сильвиуса, вскоре привело к оппозиции, вызванной преувеличением поверхностного сходства между перевариванием и ферментацией, с одной стороны, и простейшими неорганическими реакциями — с другой, а также неосмотрительным приложением их к лечебным целям. Эта оппозиция выразилась в прозвании «ятро-химия», присвоенном таким преждевременным попыткам.

Для нас причины неудач этих первых исследователей, старавшихся использовать физику и химию для исчерпывающего объяснения свойств живых организмов, вполне очевидны. Тогда еще не наступило время Лавуазье, раскрывшее элементарные принципы химии, которые должны были дать ключ для понимания процесса дыхания, а позднее составить основу для развития так называемой органической химии. Но, кроме того, до открытий Гальвани оставалась скрытой еще одна фундаментальная сторона законов физики. Очень поучительно думать, что зерно, которому в руках Вольты, Эрстеда, Фарадея и Максвелла суждено было развиваться в стройную систему, соперничающую по значению с механикой Ньютона, зародилось из исследований, имевших биологическую цель. Действительно, трудно себе представить, чтобы процесс, который привел от опытов с наэлектризованными телами, какими плодотворными бы они ни были в руках Франклина, к изучению гальванических токов, мог бы осуществиться, если бы чувствительные приборы, необходимые для обнаружения таких токов (которые теперь так легко создаются), не были бы предоставлены самой природой в виде нервных тканей высших животных.

¹ «Ятрос» — по-гречески медик; таким образом, «ятро-физик» означает «медико-физик». — *Прим. ред.*

Здесь невозможно набросать даже в общих чертах потрясающее развитие физики и химии со времени Гальвани или перечислить открытия во всех отраслях биологии за последнее столетие. Нам достаточно напомнить о научных направлениях, идущих от трудов первых исследователей, Мальпиги и Спалланцани¹, работавших в этом почтенном университете, к современной эмбриологии и соответственно бактериологии; или же от самого Гальвани до недавних захватывающих исследований нервных импульсов. Несмотря на достигнутое таким образом глубокое понимание физической и химической стороны многих типичных биологических реакций, изумительная тонкость строения организмов и их богатство связанными между собой регулируемыми механизмами все еще заходят так далеко за пределы всякого опыта, относящегося к неживой природе, что мы чувствуем себя столь же отдаленными, как и раньше, от объяснения самой жизни на физико-химической основе. Действительно, когда мы присутствуем при жарких спорах о значении для этой проблемы недавних открытий отравляющих эффектов и генеративных свойств так называемых вирусов, перед нами встает столь же острая дилемма, как та, с которой столкнулись Демокрит и Аристотель.

При такой ситуации интерес снова сосредоточивается на атомной теории, хотя и на совершенно другом фоне. С тех пор как Дальтон с таким решительным успехом использовал атомистические представления для разъяснения количественных законов, управляющих составом химических соединений, атомная теория становится в химии надежным руководящим принципом и необходимой основой во всех рассуждениях; а замечательное совершенство техники эксперимента в физике дало нам даже средство для изучения явлений, прямо зависящих от действия индивидуальных атомов. Таким образом, это развитие устранило последние следы традиционного предрассудка, утверждавшего, будто бы из-за грубости наших органов чувств всякое доказательство действительного существования атомов навеки останется за пределами досягаемости человеческого

¹ Мальпиги (1628—1694) — итальянский врач и анатом; Спалланцани (1729—1799) — итальянский биолог. — *Прим. ред.*

опыта. Но, кроме того, оно обнаружило в законах природы еще более глубокие черты атомистичности, чем те, которые выражены в старом учении об ограниченной делимости материи. Действительно, мы узнали, что для того, чтобы охватить собственно атомные явления, должна быть существенно расширена самая система понятий, которая была пригодна как для описания нашего опыта повседневной жизни, так и для формулировки всей системы законов, которым подчиняется поведение материи в ее массе; на этих законах и построено то внушительное здание, которое именуется классической физикой. Для того чтобы оценить те возможности, которые эта новая точка зрения философии естествознания дает для рационального подхода к фундаментальным проблемам биологии, нам придется кратко напомнить главные направления развития, приведшего к разъяснению положения в атомной теории.

Отправным пунктом современной атомной физики было, как известно, признание атомной природы самого электричества. На нее впервые указали знаменитые исследования Фарадея о гальваническом электролизе, и затем она была окончательно подтверждена фактом изолирования электрона в прекрасных явлениях электрического разряда в разреженных газах, явлениях, привлекавших к себе такое внимание в конце прошлого столетия. Блестящие исследования Томсона вскоре выяснили существенную роль электронов в самых разнообразных физических и химических явлениях. Наше знакомство со структурными единицами материи было, однако, еще неполным вплоть до открытия Резерфордом атомного ядра — открытия, увенчавшего его новаторские труды о спонтанных радиоактивных превращениях некоторых тяжелых элементов. Действительно, это открытие впервые дало бесспорное объяснение неизменяемости элементов в обыкновенных химических реакциях, в которых крошечное тяжелое ядро остается без изменений, а затрагивается только распределение легких электронов вокруг него. Сверх того, это открытие дает объяснение происхождению естественной радиоактивности, в которой мы наблюдаем взрыв самого ядра; оно разъяснило также и обнаруженную Резерфордом позднее возможность вызвать превращения элементов бомбар-

дировкой тяжелыми частицами с большой скоростью, которые, сталкиваясь с ядрами, могут вызвать их распад.

Мы отошли бы слишком далеко от предмета нашего доклада, если бы стали углубляться дальше в чудесную новую область исследований, открывшуюся благодаря изучению ядерных превращений; эта область будет одним из главных предметов дискуссии среди физиков настоящего съезда. Для наших рассуждений наиболее существенным являются, однако, не эти новые открытия, а очевидная невозможность истолковать обычные физические и химические опытные факты на основании одних только свойств атомной модели Резерфорда (которые сами по себе прочно установлены), если при этом не отступить самым радикальным образом от классических идей механики и электромагнетизма. В самом деле, хотя механика Ньютона и позволила проникнуть в гармонию движения планет, выраженную законами Кеплера, механические модели, подобные Солнечной системе, не вполне устойчивы в том смысле, что они не имеют тенденции возвращаться в первоначальное состояние, будучи выведены из него каким-либо возмущением. Свойства стабильности таких моделей явно не обладают достаточным сходством с абсолютной внутренней стабильностью электронных конфигураций атомов, благодаря которой каждый элемент обладает своими характерными свойствами. Ярче всего эта стабильность проявляется в спектральном анализе, обнаружившем, как известно, что у каждого элемента имеется свой характерный спектр, состоящий из резких линий и настолько не зависящий от внешних условий, что характер спектра дает способ определения, из наблюдений, материального состава даже самых удаленных звезд.

Но ключ к разрешению этой дилеммы уже был найден Планком, открывшим элементарный квант действия. Открытие это было результатом физических исследований совершенно иного направления. Как известно, Планк пришел к своему фундаментальному открытию путем остроумного анализа таких свойств теплового равновесия между материей и излучением, которые в силу общих принципов термодинамики должны быть совершенно не зависимыми от тех или иных свойств материи, а значит, и от тех или иных идей об атомной

структуре. Существование элементарного кванта действия выражает новое свойство индивидуальности физических процессов, совершенно чуждое классическим законам механики и электромагнетизма; оно ограничивает их справедливость теми явлениями, в которых величины размерности действий велики по сравнению со значением единичного кванта, даваемым новой атомистической постоянной Планка. Это условие ни в какой мере не выполняется для электронов в атомах, хотя ему с избытком удовлетворяют явления в обычных физических опытах. И действительно, только существование кванта действия препятствует слиянию электронов с ядром в нейтральную тяжелую частицу практически бесконечно малого размера.

Признание такого положения тотчас же навело на мысль описывать удержание каждого электрона полем вокруг ядра как непрерывный ряд индивидуальных процессов, которые переводят атом из одного из так называемых его стационарных состояний в другое такое же состояние с испусканием освобожденной энергии в виде единичного кванта электромагнитного излучения. Эта идея внутренне сродни эйнштейновскому успешному толкованию фотоэлектрического эффекта, столь убедительно подтвержденному прекрасными работами Франка и Герца над возбуждением спектральных линий ударами электронов об атомы. Она дала не только прямое объяснение загадочных законов линейчатых спектров, распутанных Бальмером, Ридбергом и Ритцем, но и постепенно привела к систематической классификации, на основе спектроскопических данных, типов стационарной связи каждого электрона в атоме; это дало полное объяснение замечательным зависимостям между физическими и химическими свойствами элементов, — зависимостям, выраженным в знаменитой таблице Менделеева. Такое толкование свойств материи казалось осуществлением древнего идеала — свести формулирование законов природы к рассмотрению только чисел, — превосходящим даже мечты пифагорейцев. Основное предположение об индивидуальности атомных процессов означало в то же время неизбежный отказ от установления детальной причинной связи между физическими событиями, существование которой было в течение столетий бесспорной основой философии естествознания.

О возвращении к способу описания, совместному с принципом причинности, не могло быть и речи; это однозначно исключалось разнообразными опытными фактами. С другой стороны, вскоре удалось расширить первоначальные примитивные попытки учесть в атомной теории существование кванта действия и развить их настоящую, существенно статистическую атомную механику. Атомная механика вполне сравнима по своей последовательности и полноте со структурой классической механики, рациональным обобщением которой она и является. Установлением этой новой так называемой квантовой механики мы, как известно, обязаны прежде всего изобретательности и остроумию младшего поколения физиков. Независимо от поразительной плодотворности квантовой механики во всех областях физики и химии, она существенно разъяснила и философскую основу анализа и синтеза атомных явлений. В самом деле, начатый одним из главных основателей квантовой механики, Гейзенбергом, пересмотр для этой области самой проблемы наблюдения привел к раскрытию ранее игнорируемых предпосылок для однозначного применения даже самых элементарных понятий, на которых основано описание явлений природы. Здесь решающим является признание того, что всякая попытка анализировать обычным, принятым в классической физике порядком «индивидуальность» атомных процессов, обусловленную квантом действия, непременно срывается из-за неизбежного взаимодействия между исследуемыми объектами и измерительными приборами, необходимыми для этого исследования.

Прямым следствием этой ситуации является то, что наблюдения над поведением атомных объектов в разных экспериментальных установках не могут быть, вообще говоря, скомбинированы обычным в классической физике способом. В частности, любая мыслимая процедура, целью которой была бы локализация в пространстве и времени электронов в атоме, неизбежно вызовет принципиально неконтролируемый обмен количеством движения и энергией между атомами и измерительными средствами, а этот обмен полностью разрушит те замечательные закономерности, которые связаны с устойчивыми состояниями атома и обусловлены квантом действия. И обратно, поскольку самая формули-

ровка этих закономерностей требует применения законов сохранения энергии и количества движения, исследование их связано с принципиальным отказом от локализации отдельных электронов атома в пространстве и времени. Те стороны квантовых явлений, которые обнаруживаются при такого рода взаимно исключающих условиях, отнюдь не противоречат друг другу; их следует, таким образом, рассматривать как дополнительные в совсем новом смысле. В самом деле, точка зрения «дополнительности» ни в коем случае не означает произвольного отказа от анализа атомных явлений, а, наоборот, является выражением рационального синтеза такого богатства опытных фактов в этой области, какое не вмещается в естественных пределах применимости понятия причинности.

Исследование этих глубоких вопросов поощряется великим примером теории относительности, которая обнаружила не замеченные ранее предпосылки для однозначного применения физических понятий и тем самым открыла новые возможности для понимания и охвата явлений, кажущихся непримиримыми. Несмотря на урок, преподанный теорией относительности, мы должны осознать, что ситуация, с которой мы встречаемся в современной атомной теории, совершенно беспрецедентна в истории физической науки. Действительно, вся система понятий классической физики, доведенная до такого изумительного единства и законченности трудами Эйнштейна, основана на некоторой предпосылке, прекрасно соответствующей нашему повседневному физическому опыту и состоящей в том, что можно отделить поведение материальных объектов от вопроса о их наблюдении. В поисках параллели к вытекающему из атомной теории уроку об ограниченной применимости обычных идеализаций мы должны обратиться к совсем другим областям науки, например к психологии, или даже к особому рода философским проблемам; это те проблемы, с которыми уже столкнулись такие мыслители, как Будда и Лао Цзы, когда пытались согласовать наше положение как зрителей и как действующих лиц в великой драме существования. Признание аналогии чисто логического характера в тех проблемах, которые возникают в столь далеких друг от друга областях человеческих интересов, ни в коем случае не означает,

однако, что в атомной физике допускается какой-то мистицизм, чуждый истинному духу науки; наоборот, это признание побуждает нас подумать, не может ли прямое решение тех парадоксов, которые неожиданно встретились в атомной области при применении наших простейших понятий, помочь нам разъяснить аналогичные затруднения в других областях знания.

Не было также недостатка в советах искать прямую связь между жизнью или свободной волей и теми чертами атомных явлений, для охвата которых рамки классической физики, очевидно, слишком узки. Действительно, в реакциях живых организмов можно указать много характерных черт (например, чувствительность зрительных восприятий или индуцирование мутаций генов при помощи проникающей радиации), которые, несомненно, связаны с усилением эффектов индивидуальных атомных процессов, подобным тому усилению, на котором по существу основана техника эксперимента в атомной физике. Признание того, что тонкость организации и регулирующих механизмов живых существ выходит так далеко за пределы всех прежних ожиданий, само по себе отнюдь не дает нам, однако, возможности объяснить своеобразные особенности жизни. Правда, целостность и целеустремленность биологических явлений и их так называемые телеологические аспекты, конечно, нельзя объяснить свойством индивидуальности атомных процессов, обнаруженных благодаря открытию кванта действия; скорее, наоборот, статистический характер квантовой механики, казалось бы, даже увеличивает трудности понимания собственно биологических закономерностей. Однако в этой дилемме общий урок атомной теории подсказывает нам, что единственный способ примирить законы физики с понятиями, пригодными для описания явлений жизни, — это разобратся в существенных различиях между условиями наблюдения явлений, изучаемых в физике и в биологии.

Прежде всего мы должны ясно себе представить, что всякая постановка опыта, которая позволила бы нам изучать поведение атомов, составляющих живой организм, столь же подробно, как мы это можем сделать для единичных атомов в фундаментальных опытах атомной физики, исключает возможность сохранить организм живым. Неотделимый от жизни непрерывный обмен

материей делает даже невозможным подход к организму как к точно определенной системе материальных частиц, подобной тем системам, которые рассматриваются во всяком описании обыкновенных физических или химических свойств материи. Действительно, мы вынуждены принять, что собственно биологические закономерности представляют законы природы, дополнительные к тем, которые пригодны для объяснения свойств неодушевленных тел. Здесь имеется аналогия с соотношением дополнительности между свойствами стабильности самих атомов и таким поведением составляющих их частиц, которое допускает описание на основе понятия локализации в пространстве и времени. В этом смысле существование самой жизни следует рассматривать как в отношении ее определения, так и наблюдения как основной постулат биологии, не поддающийся дальнейшему анализу, подобно тому как существование кванта действия вместе с конечной делимостью материи образует элементарную основу атомной физики.

Отсюда видно, что такая точка зрения одинаково далека от крайних учений механицизма и витализма. С одной стороны, она осуждает как не относящиеся к делу всякие сравнения живых организмов с машинами, будь то сравнительно простые конструкции, которые рассматривались старыми ятро-физиками, или тончайшие современные усилительные приспособления, некритическое выдвижение которых подвергло бы нас опасности заслужить кличку «ятро-квантистов». С другой стороны, она отбрасывает как неразумные все попытки ввести какие-то специально биологические законы, несовместные с твердо установленными физическими и химическими закономерностями; такие попытки возобновились в наши дни под впечатлением чудесных откровений эмбриологии о росте и делении клеток. В этой связи особенно следует помнить, что возможность избежать в рамках дополнительности подобных противоречий дается самим тем фактом, что ни один результат биологического исследования не может быть однозначно описан иначе, как на основе понятий физики и химии, совершенно так же, как всякое описание опыта даже в атомной физике должно в конечном счете опираться на понятия, необходимые для сознательной регистрации чувственных восприятий.

Последнее замечание приводит нас обратно в царство психологии, где трудности, связанные с проблемами определения и наблюдения в научных исследованиях, были ясно осознаны задолго до того, как эти проблемы стали злободневными в других естественных науках. Действительно, невозможность в психическом опыте различить между самыми явлениями и их сознательным восприятием очевидно требует отказа от простого причинного описания по образцу классической физики; и то, как употребляются в психическом анализе слова «мысли» и «ощущения», настоятельно напоминает о дополнительности, встречающейся в атомной физике. Я не буду здесь входить в дальнейшие подробности, но лишь подчеркну, что невозможность при самонаблюдении резко отличить субъект от объекта как раз и дает необходимую свободу для проявления решимости (*volition*). Связывать же свободу воли непосредственно с ограничением причинности в атомной физике, как это часто предлагают, совершенно чуждо нашим взглядам, лежащим в основе сделанных здесь замечаний о биологических проблемах.

Закljučая этот доклад, я надеюсь, что безрассудство физика, отважившегося выйти так далеко за пределы своей ограниченной области науки, ему простится ввиду такого приятного и удобного случая для полезных дискуссий, какой был предоставлен физикам и биологам настоящим собранием, посвященным памяти великого основоположника, чьи фундаментальные открытия так много внесли в обе эти отрасли науки.

Философия естествознания и культуры народов

1938

Только с большими колебаниями я принял любезное приглашение обратиться с речью к этому собранию¹ выдающихся представителей антропологической и этнографической наук, ибо с этими науками я, как физик, конечно, не имею близкого знакомства. Однако при этом особом случае, когда само историческое окружение говорит каждому из нас об аспектах жизни, не похожих на те, которые обсуждаются на обычных заседаниях конгрессов, может быть, было бы интересно попробовать несколькими словами привлечь ваше внимание к гносеологической стороне новейшего развития философии естествознания и его отношению к общим проблемам человечества. Правда, наши разделы науки далеки друг от друга. Но физикам был преподан урок, указывающий на ту осторожность, с какой надо применять все обычные условия представления всякий раз, как мы имеем дело не с повседневным опытом, и этот урок, мне кажется, подходит для того, чтобы по-новому напомнить нам о хорошо известных гуманитарам опасностях судить с собственной точки зрения о культурах, развившихся в других обществах.

¹ Собрание происходило в замке Кронеборг — месте действия шекспировского «Гамлета». Замок расположен в г. Эльсинор на берегу узкого пролива Зунд, отделяющего Данию от Швеции. — *Прим. ред.*

Установить резкое различие между философией естествознания и человеческой культурой, конечно, невозможно. В самом деле, физические науки являются неотъемлемой частью нашей цивилизации; это происходит не только потому, что наше все увеличивающееся овладение силами природы совершенно изменило материальные условия жизни, но также и потому, что изучение этих наук дало так много для выяснения того окружения, на фоне которого существуем мы сами. Как много значило в этом отношении то, что мы больше не считаем себя привилегированными существами, живущими в центре вселенной и окруженными менее удачливыми обществами, обитающими по краям пропасти; благодаря развитию астрономии и географии мы осознали, что все мы живем на небольшой шарообразной планете Солнечной системы, которая в свою очередь является малой частью еще более грандиозных систем. В наши дни мы получили убедительное указание на относительность всех человеческих суждений; это произошло благодаря возобновленному пересмотру предпосылок, лежащих в основе однозначного применения наших даже самых элементарных понятий, вроде понятия о пространстве и времени; раскрыв существенную зависимость всякого физического явления от точки зрения наблюдателя, этот пересмотр много дал для единства и красоты всей нашей картины вселенной.

Важное значение этих крупных достижений для нашего общего кругозора общепризнанно. Что касается того неожиданного гносеологического урока, который был преподан нам за последние годы открытием совершенно новых областей физических исследований, то было бы преждевременно утверждать, что и он получил всеобщее признание. Наше проникновение в мир атомов, до сих пор бывший скрытым от глаз человека, несомненно является смелым предприятием, которое можно сравнить с великими, полными открытий кругосветными путешествиями и дерзкими исследованиями астрономов, проникших в глубины мирового пространства. Как известно, поразительное развитие искусства физического экспериментирования не только устранило последние следы старого представления о том, что грубость наших чувств будто бы навсегда лишает нас возможности получить непосредственную информацию об

индивидуальных атомах, но и достигло большего. Эти опыты показали, что сами атомы состоят из еще более мелких частиц, которые можно изолировать и чьи свойства можно исследовать в отдельности. В этом захватывающем поле исследований мы в то же время научились, однако, и тому, что известные до сих пор законы природы, составляющие великое здание классической физики, годятся, только если мы имеем дело с телами, состоящими из практически бесконечного числа атомов. В самом деле, новые знания о поведении отдельных атомов и атомных частиц выявили неожиданный предел для подразделения всякого физического действия — предел, простирающийся далеко за границы старой доктрины об ограниченной делимости материи и придающий каждому атомному процессу своеобразный индивидуальный характер. Это открытие дало совершенно новое основание для понимания той внутренней стабильности атомных структур, которая в конечном счете обуславливает закономерности во всех обычных опытах.

Насколько радикальна вызванная этим развитием физики перемена в наших взглядах на описание природы, видно яснее всего из того факта, что даже принцип причинности, до сих пор считавшийся неперменной основой для всех толкований явлений природы, оказался слишком узким для того, чтобы охватить своеобразные закономерности, управляющие индивидуальными атомными процессами. Конечно, всякий поймет, что понадобились крайне убедительные доводы, чтобы заставить физиков отказаться от самого идеала причинности, но при изучении атомных явлений мы неоднократно научались тому, что вопросы, на которые, как считалось, давно получены окончательные ответы, таят в себе неожиданные для нас сюрпризы. Вы, наверно, все слышали о загадках, касающихся самых элементарных свойств света и материи, — загадках, которые за последние годы ставили в тупик физиков. В самом деле, кажущиеся противоречия, которые мы встречаем в этой области, так же остры, как те, из коих началось развитие теории относительности в начале этого столетия; те и другие противоречия нашли свое объяснение только благодаря более тщательному рассмотрению ограничений, налагаемых самими вновь открытыми опытными фактами на однозначное применение понятий, входящих

в описание явлений. В теории относительности решающим было признание того факта, что наблюдатели, движущиеся друг относительно друга, будут описывать поведение данных объектов существенно различным образом; при выяснении же парадоксов атомной физики обнаружился тот факт, что неизбежное взаимодействие между объектами и измерительными приборами ставит абсолютный предел для возможности говорить о поведении атомных объектов как о чем-то не зависящем от средств наблюдения.

Перед нами стоит здесь гносеологическая проблема, совершенно новая для философии естествознания, где до сих пор всякое описание опытных фактов основывалось на предположении, что можно четко разграничить поведение объектов от средств наблюдения; это предположение уже входит в обычные способы выражения нашего языка. Оно не только вполне оправдывается повседневным опытом, но и составляет даже главное основание классической физики, получившей такое замечательное завершение именно благодаря теории относительности. Однако дело меняется, как только мы переходим к явлениям, подобным индивидуальным атомным процессам, которые по самой своей природе существенно определяются взаимодействием исследуемых объектов с измерительными приборами, характеризующими экспериментальную установку; в этом случае мы вынуждены пристальнее рассмотреть вопрос, какого же рода информацию о таких объектах мы можем получить. В этом отношении мы должны прежде всего отдать себе отчет в том, что цель всякого физического опыта есть получение данных при воспроизводимых и поддающихся словесной передаче условиях. Эта цель не оставляет нам никакого другого выбора, как пользоваться повседневными понятиями, может быть улучшенными терминологией классической физики, не только при описании устройства и работы измерительных приборов, но также и при описании получаемых экспериментальных результатов. С другой стороны, столь же важно понять, что именно это обстоятельство и указывает нам, что ни один результат опыта, касающегося явления, в принципе лежащего вне области классической физики, не может быть истолкован как дающий информацию о независимых свойствах объектов

(свойствах объектов самих по себе). Более того, эти результаты внутренне связаны с определенной ситуацией, в описание которой столь же существенно, как и объект, входят и измерительные приборы, взаимодействующие с объектом. Этот последний факт дает прямое объяснение кажущихся противоречий, которые появляются, если данные об атомных объектах, полученные в разных экспериментальных установках, пытаться комбинировать в связную картину объекта.

Информацию о поведении атомных объектов, полученную при определенных условиях опыта, можно, однако, адекватно характеризовать (согласно терминологии, часто употребляемой в атомной физике) как дополнительную к любой информации о том же объекте, полученной в какой-то другой экспериментальной установке, исключающей выполнение первых условий. Хотя такого рода информации не могут быть скомбинированы при помощи обычных понятий в единую картину объекта, они, несомненно, представляют одинаково важные стороны всякого знания исследуемого объекта, какое может быть получено в этой области. Действительно, признание такого дополнительного характера механических аналогий, при помощи которых пытались представить себе индивидуальные акты излучения, привело к вполне удовлетворительному разрешению упомянутых выше загадок о свойствах света. И точно так же, лишь принимая во внимание соотношение дополнительности между различными опытами над поведением атомных частиц, удалось найти ключ для понимания поразительного контраста между свойствами обыкновенных механических моделей и своеобразными законами устойчивости, управляющими атомными структурами и образующими основу для всякого обстоятельного объяснения характерных физических и химических свойств материи.

Конечно, в настоящем докладе я не намерен входить более подробно в такие детали. Но я надеюсь, что мне все же удалось дать вам достаточно ясное представление о том факте, что мы здесь имеем дело не с произвольным отказом от подробного анализа прямо-таки ошеломляющего богатства нашего быстро растущего опыта в царстве атомов. Наоборот, в понятии дополнительности мы имеем дело с рациональным развитием

наших способов классифицировать и понимать новые опытные факты, которые по своему характеру не находят себе места в рамках причинного описания; последнее годится для объяснения поведения объектов, только пока это поведение не зависит от способов наблюдения. Точка зрения дополнительности далека от какого-либо мистицизма, противоречащего духу науки; в действительности она представляет собой последовательное обобщение идеала причинности.

Каким бы неожиданным ни показалось это развитие в области физики, я уверен, что многие из вас заметили близкую аналогию между описанным мною положением с анализом атомных явлений и характерными чертами проблемы наблюдения в психологии человека. Действительно, мы можем характеризовать общее направление современной психологии как реакцию против попытки разложить психический опыт на элементы, которые можно было бы объединить таким же образом, как это делается с результатами измерений в классической физике. При самонаблюдении, очевидно, невозможно четко отличить сами явления от их сознательного восприятия, и, хотя мы часто говорим о том, что мы обратили свое внимание именно на ту или иную сторону психического опыта, при более тщательном рассмотрении оказывается, что на самом деле мы встречаемся во всех подобных случаях со взаимно исключаящими друг друга положениями. Мы все знаем старое высказывание, гласящее, что если мы пробуем анализировать наши переживания, то мы перестаем их испытывать. В этом смысле мы обнаруживаем, что между психическими опытами, для описания которых адекватно употребляют такие слова, как «мысли» и «чувства», существует дополнительное соотношение, подобное тому, какое существует между данными о поведении атомов, полученными при разных условиях опыта; такие опытные данные описываются при помощи разных аналогий, взятых из наших обычных представлений. Проводя такое сравнение, я, конечно, не хочу навести на мысль, что есть какая-то более тесная связь между атомной физикой и психологией; я только хотел обратить ваше внимание на гносеологический аргумент, общий обеим областям знания, и таким образом побудить к более пристальному рассмотрению того, насколько решение сравнительно про-

стых физических проблем может помочь разъяснить более запутанные психологические вопросы, с которыми сталкивается жизнь человека и с которыми так часто встречаются в своих исследованиях антропологи и этнологи.

Подходя теперь ближе к нашему предмету — значению подобных точек зрения для сравнения человеческих культур, — мы прежде всего укажем на типично дополнительную связь между типами поведения живых существ, которые определяются словами «инстинкт» и «разум». Правда, любые такие слова употребляются в очень разных смыслах; так, инстинкт может значить «побуждение» и «унаследованное поведение», а разум может означать более глубокое восприятие, так же как и сознательное рассуждение. Однако нас теперь занимает только то, как на практике употребляют эти слова, чтобы отмечать разные ситуации, в которых могут оказываться животные и люди. Конечно, никто не будет отрицать, что мы принадлежим к животному миру, и даже было бы довольно трудно найти исчерпывающее определение, выделяющее человека среди животных. Действительно, трудно оценить скрытые возможности любого живого организма, и я думаю, что среди нас нет человека, на которого подчас не производило бы глубокого впечатления то, до чего можно выдрессировать цирковых животных. Четкую границу между человеком и животным нельзя было бы провести даже и по признаку способности передавать информацию от одной особи к другой; но, конечно, наша способность к речи ставит нас в этом отношении в существенно другое положение. Это относится не только к передаче практического опыта, но прежде всего к возможности передавать детям путем обучения традиции, касающиеся поведения и способов рассуждения и образующие основу всякой человеческой культуры.

Что касается сравнения разума с инстинктом, то прежде всего важно себе представить, что никакое настоящее человеческое мышление невозможно без употребления понятий, выраженных на каком-то языке, которому всякое новое поколение должно учиться заново. Это утребление понятий и представлений фактически сильно подавляет инстинктивную жизнь; оно даже находится в исключаяющей дополнительной связи к проявлению унаследованных инстинктов. Поразительное

превосходство низших животных над человеком в использовании возможностей природы для сохранения и распространения жизни, несомненно, находит часто свое истинное объяснение в том, что у таких животных мы не можем обнаружить никакого сознательного мышления в нашем смысле слова. Вспомним также удивительную способность так называемых первобытных людей ориентироваться в лесах и пустынях; хотя такая способность, по-видимому, утрачена в более цивилизованных обществах, она может при случае проснуться в любом из нас. Наличие у первобытных людей такой способности могло бы оправдать вывод, что ее применение возможно, только если не прибегать к мышлению понятиями; со своей стороны такое мышление приспособлено для целей, гораздо более разнообразных и более первостепенной важности с точки зрения развития цивилизации. Новорожденного ребенка едва можно считать человеческим существом именно потому, что он еще не пробудился для пользования понятиями; но, так как он все-таки принадлежит к человеческому роду, хотя он и беспомощнее большинства молодых животных, он, конечно, обладает органической возможностью получить путем обучения культуру, позволяющую ему занять место в том или ином людском обществе.

Такие рассуждения сейчас же ставят вопрос, действительно ли обоснованно широко распространенное убеждение, что каждый ребенок рождается с предрасположением для восприятия какой-то своей особой человеческой культуры; может быть, мы скорее должны считать, что любая культура может быть насаждена и будет процветать на совершенно разных физических почвах. Конечно, мы здесь затрагиваем предмет еще не разрешенных споров среди генетиков, которые занимаются интересными исследованиями о наследовании физических особенностей. В связи с такими спорами мы должны, однако, прежде всего помнить, что различие между генотипом и фенотипом¹, столь плодотворное для разъяснения наследственности у растений и животных, существенно предполагает второстепенность влияния

¹ Согласно ВСЭ, «генотип» есть наследственная основа организма. «Фенотип» есть совокупность свойств и признаков организма, сложившихся в процессе его индивидуального развития. — *Прим. ред.*

внешних условий жизни на характерные свойства вида. В случае же характерных свойств культур человеческих обществ проблема, однако, меняется на обратную в том смысле, что основой для классификации здесь являются традиционные обычаи, сформированные в ходе истории данного общества под влиянием естественного его окружения. Эти обычаи так же, как и их предпосылки, должны быть подробно проанализированы в первую очередь; лишь затем можно будет перейти к оценке влияния унаследованных биологических различий на развитие и сохранение соответствующих культур. Действительно, характеризуя разные нации и, более того, разные семейства внутри одной нации, мы в большой степени можем считать биологические признаки и духовные традиции не зависимыми друг от друга; и даже было бы соблазнительно считать прилагательное «человеческий» относящимся, по определению, исключительно к тем признакам, которые не связаны прямо с телесной наследственностью.

С первого взгляда может показаться, что такая позиция означала бы излишнее подчеркивание чисто словесных вопросов. Но весь рост физических наук учит нас тому, что зародыш плодотворного развития часто таится именно в надлежащем выборе определений. Например, если мы подумаем о той ясности, которую внесла в разные отрасли науки аргументация теории относительности, мы действительно увидим, какой прогресс может заключаться в таких формальных усовершенствованиях. Как я уже намекал раньше в моем выступлении, релятивистские точки зрения, без сомнения, могут тоже способствовать более объективному взгляду на соотношения между человеческими культурами; различия между их традициями во многом походят на различия между эквивалентными способами описания физического опыта. Эта аналогия между физическими и гуманитарными проблемами имеет, однако, ограниченный размах, и преувеличение ее привело даже к неправильному пониманию сущности самой теории относительности. В самом деле, единство релятивистской картины мира как раз и влечет за собой возможность для всякого наблюдателя предсказывать в рамках своих собственных представлений, как другой наблюдатель будет описывать свой физический опыт в рамках понятий, естественных для него.

Главными препятствиями для непредубежденной точки зрения на отношение между разными человеческими культурами являются, однако, глубоко коренящиеся различия между традициями, составляющими тот фон, на котором основывается культурная гармония в разных человеческих обществах; эти различия и исключают всякое простое сравнение между такими культурами.

Главным образом именно в связи с этим точка зрения дополнительности выступает как средство справиться с положением. Действительно, при изучении человеческих культур, отличных от нашей собственной, мы имеем дело с особой проблемой наблюдения, которая при ближайшем рассмотрении обнаруживает много признаков, общих с атомными или психологическими проблемами; в этих проблемах взаимодействие между объектом и орудием измерения, или же неотделимость объективного содержания от наблюдающего субъекта, препятствует непосредственному применению общепринятых понятий, пригодных для объяснения опыта повседневной жизни. Особенно при изучении культур первобытных народов этнологи не только отдают себе отчет о риске испортить такую культуру неизбежным контактом, но встречаются, кроме того, и с проблемой воздействия таких исследований на их собственную позицию как людей. Я имею здесь в виду хорошо знакомое исследователям неизвестных стран потрясение их собственных, до тех пор не осознанных предрассудков, которое они испытывают, встретив неожиданную внутреннюю гармонию, которую человеческая жизнь может представить даже при условиях и традициях, радикально отличных от их собственных. В качестве особо убедительного примера я мог бы напомнить вам, до какой степени в некоторых обществах роли мужчин и женщин противоположны нашим не только в отношении домашних и общественных обязанностей, но также и в отношении поведения и интеллекта. Многие из нас, может быть, сначала и откажутся допустить возможность того, что только из-за каприза судьбы люди, о которых идет речь, имеют свою особую культуру, а не нашу, а у нас не их культура, а наша собственная. Всякое сомнение на этот счет уже включает в себе измену национальному самодовольству, свойственному всякой человеческой культуре, замкнутой в себе.

В атомной физике слово «дополнительность» употребляют, чтобы характеризовать связь между данными, которые получены при разных условиях опыта и могут быть наглядно истолкованы лишь на основе взаимно исключающих друг друга представлений. Употребляя теперь это слово в том же примерно смысле, мы поистине можем сказать, что разные человеческие культуры дополнительны друг к другу. Действительно, каждая такая культура представляет собой гармоническое равновесие традиционных условностей, при помощи которых скрытые потенциальные возможности человеческой жизни могут раскрыться так, что обнаружат новые стороны ее безграничного богатства и многообразия. Конечно, в этой области не может быть и речи о таких абсолютно исключающих друг друга соотношениях, как те, какие имеются между дополнительными данными о поведении четко определенных атомных объектов. Ведь едва ли существует культура, про которую можно было бы сказать, что она полностью самобытна. Наоборот, все мы знаем из многочисленных примеров, как более или менее тесный контакт между разными человеческими обществами может привести к постепенному слиянию традиций, из чего рождается совсем новая культура. Смешение народов в результате эмиграции или завоеваний имеет важное значение для прогресса человеческой цивилизации, и об этом едва ли нужно напоминать. Величайшая перспектива гуманитарных исследований, может быть, и состоит в том, чтобы, все больше и больше расширяя наши знания по истории развития культуры, способствовать тому постепенному устранению предубеждений, которое является общей целью всех наук.

Как я уже подчеркнул в начале своего выступления, внести какой-нибудь непосредственный вклад в решение проблем, обсуждаемых знатоками на настоящем конгрессе, выходит далеко за мои возможности. Моей единственной целью было дать вам понятие об общей гносеологической позиции, которую мы вынуждены занять в области, столь далекой от людских страстей, какой является анализ простых физических опытов. Я не знаю, однако, нашел ли я нужные слова, чтобы дать вам это общее понятие, и, прежде чем закончу, я позволю себе рассказать вам про один случай, который очень ярко

напомнил мне о моих ограниченных возможностях в этом отношении. Я хотел как-то объяснить одной аудитории, что я употребляю слово «предубеждение» без всякого оттенка осуждения других культур, но просто для того, чтобы характеризовать нашу неизбежно несколько предвзятую систему понятий. Для этого я в шутку напомнил о традиционных предубеждениях, которые датчане питают по отношению к своим шведским братьям по ту сторону прекрасного Зунда, расстилающегося за этими окнами; братьям, с которыми мы сражались в течение столетий даже в стенах этого замка и из контакта с которыми мы в течение веков извлекли так много плодотворного вдохновения. Поймите же, какой удар я получил, когда после моего доклада один из слушателей подошел ко мне и сказал, что он не понимает, за что я так ненавижу шведов. Очевидно, я выражался тогда довольно туманно, и боюсь, что и сегодня говорил очень непонятно. Тем не менее я надеюсь, что я все же говорил не настолько неясно, чтобы могли возникнуть подобные недоразумения относительно цели и направленности моих рассуждений.

Дискуссии с Эйнштейном о проблемах теории познания в атомной физике

1949

Когда я получил от издателя серии «Современные философы» («Living Philosophers») предложение написать статью для настоящего тома, в котором современные исследователи чествуют Альберта Эйнштейна за его колоссальный вклад в область естественных наук и в котором они выражают благодарность всего нашего поколения за проложенный его гением путь, я много размышлял о том, как бы мне лучше выразить, насколько я ему обязан за его вдохновляющие идеи. При этом я живо вспомнил встретившиеся мне на протяжении ряда лет многочисленные случаи, когда я имел удовольствие обсуждать с Эйнштейном гносеологические проблемы, поставленные новейшим развитием атомной физики; и я подумал, что едва ли я мог бы дать что-нибудь лучшее, чем рассказ об этих спорах, которые — хотя они и не привели к полному согласию — были для меня чрезвычайно ценными и стимулирующими. В то же время я надеюсь, что такой рассказ может дать более широким кругам представление о том, насколько полезен был открытый обмен мыслями для прогресса в области, где новые результаты время от времени требовали от нас пересмотра наших воззрений.

Главным предметом нашего спора с самого начала был вопрос о том, какую позицию следует занять по

отношению к тем отклонениям от привычных принципов описания природы, которые характерны для новейшего развития физики. Я имею в виду тот путь, на который вступила физика в первом году нашего века в результате открытия Планком универсального кванта действия. Это открытие выявило в законах природы черту атомистичности, которая выходит далеко за пределы старого учения об ограниченной делимости материи; действительно, это открытие показало нам, что классические теории физики являются идеализациями, которые допускают однозначное применение только в тех предельных случаях, когда все величины размерности действия велики по сравнению с квантом действия. На обсуждении стоял вопрос, следует ли рассматривать отказ от причинного описания атомных процессов, фактически содержащийся в попытках овладеть новым положением вещей, как временное пренебрежение идеалами, которые в конечном счете снова вернут свои права, или же дело идет о необратимом шаге на пути к настоящей гармонии между анализом и синтезом физических явлений. Для того чтобы дать как можно более ясное представление о том фоне, на котором протекали наши споры, и об аргументах, выдвигавшихся в пользу той или другой из противоположных точек зрения, я считаю необходимым напомнить с достаточной подробностью главные черты того развития теории, в которое сам Эйнштейн внес такой решающий вклад.

Как известно, Больцман впервые установил наличие внутренней связи между законами термодинамики и статистическими закономерностями, которые проявляются в механических системах с большим числом степеней свободы. Идея о существовании этой связи была руково- дящей идеей Планка в его остроумном исследовании проблемы теплового излучения — исследовании, приведшем его к фундаментальному открытию. Рассуждения Планка были в основном статистического характера; Планк весьма осторожно избегал окончательных выводов о том, в какой мере существование кванта действия означает отход от основных законов механики и электродинамики. Сущность же великого вклада Эйнштейна в квантовую теорию (1905) как раз и состояла в признании того, что такие физические явления, как фотоэффект, могут непосредственно зависеть от индивидуальных кван-

товых эффектов [1]. В те же годы, когда Эйнштейн, развивая свою теорию относительности, создавал тем самым новую основу физики, он одновременно исследовал своим дерзким умом новые черты атомизма, уводившие далеко за рамки классической физики.

Таким путем безошибочная интуиция Эйнштейна привела его шаг за шагом к выводу, что всякий излучательный процесс состоит из испускания или поглощения индивидуальных световых квантов или «фотонов» с энергией и количеством движения

$$E = h\nu$$

и

$$P = h\nu; \quad (1)$$

причем h есть постоянная Планка, тогда как ν есть число колебаний в единицу времени, а σ — число волн на единицу длины. Представление о фотоне, при всей его плодотворности, выдвинуло совершенно непредусмотренную дилемму, поскольку всякая простая корпускулярная картина излучения явно несовместима с явлениями интерференции, которые представляют важную особенность процессов излучения и могут быть описаны только при помощи волновой картины. Острота дилеммы подчеркивается тем фактом, что интерференционные явления — это единственное средство для определения тех самых понятий частоты и длины волны, которые входят в соотношения для энергии и количества движения фотона.

При таком положении вещей не могло быть и речи о попытке причинного анализа явлений излучения; дело могло идти только о том, чтобы путем комбинированного применения противоположных картин вычислять вероятности отдельных актов излучения. Здесь очень важно полностью отдавать себе отчет в том, что при таких обстоятельствах привлечение законов вероятностей преследует существенно другие цели, чем обычное применение статистических соображений в качестве практического способа объяснения свойств механических систем с весьма сложной структурой. В самом деле, в квантовой физике дело не в такого рода сложности, а в непригодности классической системы представлений для передачи своеобразных черт неделимости или «индивидуальности», характеризующих элементарные процессы.

Непригодность теорий классической физики для объяснения атомных процессов все яснее выявлялась по мере нашего ознакомления со строением атомов. Прежде всего, открытие Резерфордом атомного ядра (1911) одним ударом вскрыло непригодность классических представлений механики и электродинамики для объяснения свойственной атому стабильности. И здесь теория квантов снова дала ключ к выяснению положения вещей; в частности, появилась возможность объяснить как стабильность атомов, так и эмпирические законы, которым подчиняются спектры элементов. В основе этого объяснения лежит предположение о том, что всякая реакция атома, ведущая к изменению его энергии, включает в себя полный переход атома от одного так называемого стационарного квантового состояния к другому и что, в частности, спектры испускаются ступенчатым процессом, причем каждый переход сопровождается испусканием монохроматического кванта света, энергия которого в точности равна энергии эйнштейновского фотона.

Эти представления, вскоре подтвержденные опытами Франка и Герца (1914) над возбуждением спектров при ударе электронов об атомы, заключают в себе дальнейший отказ от причинного способа описания; ибо толкование спектральных законов явно предполагает, что атом в возбужденном состоянии имеет, вообще говоря, возможность перейти с испусканием фотонов в одно из своих состояний с меньшей энергией. Действительно, самое представление о стационарных состояниях несовместимо с каким-либо предписанием относительно выбора между такими переходами и допускает только переименование понятия об относительных вероятностях отдельных процессов перехода. При оценке таких вероятностей единственной основой служил так называемый принцип соответствия, возникший из стремления найти наиболее тесную связь между статистическим описанием атомных процессов и следствиями, которые следовало бы ожидать на основании классической теории. Последняя должна быть непосредственно применима только в предельном случае, когда рассматриваемые на всех этапах анализа явления величины размерности действия велики по сравнению с универсальным квантом действия.

В то время еще не намечалось никакой общей непротиворечивой квантовой теории; тогдашняя точка зрения на эти вопросы может быть, однако, иллюстрирована следующим отрывком из доклада, сделанного автором в 1913 г. [2]:

«Я надеюсь, что говорил достаточно ясно для того, чтобы вы поняли, насколько сильно приведенные рассуждения отклоняются от той замечательно последовательной системы понятий, которую по праву называют классической электродинамической теорией. С другой стороны, именно тем, что я так сильно подчеркивал это противоречие, я пытался дать вам почувствовать, что со временем все-таки можно будет привести новые понятия в какую-то систему».

Важный шаг вперед в развитии квантовой теории был сделан самим Эйнштейном в его знаменитой статье 1917 г. о равновесном излучении [3]. В ней он показал, что закон Планка о тепловом излучении допускает простой вывод на основе предположений, совпадающих с основными идеями квантовой теории строения атомов. С этой целью Эйнштейн формулировал общие статистические правила для излучательных переходов между стационарными состояниями. При этом он считал, что процессы испускания и поглощения будут иметь место не только для атомов, подвергаемых действию излучения (причем вероятность их в единицу времени будет пропорциональна интенсивности падающего света), но что даже при отсутствии внешних возмущений могут иметь место спонтанные процессы излучения, число которых в единицу времени соответствует некоторой априорной вероятности. По поводу последнего пункта Эйнштейн весьма выразительно подчеркнул фундаментальный характер статистического описания тем, что указал на аналогию между предположением о существовании спонтанных излучательных переходов и хорошо известными законами, управляющими превращениями радиоактивных веществ.

В связи со своим тщательным анализом вытекающих из термодинамики требований в отношении задач излучения Эйнштейн еще больше заострил дилемму, указав, что если его рассуждения справедливы, то всякий процесс излучения должен иметь определенное направление. Последнее нужно понимать в том смысле, что не только

атом, поглощающий квант света, получает от фотона количество движения, направление которого соответствует направлению распространения фотона, но что и излучающий атом получает импульс в противоположном направлении, причем это имеет место, несмотря на то, что по волновой картине не может быть и речи о предпочтительном направлении в акте излучения. Отношение самого Эйнштейна к таким поразительным выводам выражено в нескольких фразах в конце упомянутой выше его статьи [3]:

«Эти свойства элементарных процессов заставляют считать почти неизбежным построение собственно квантовой теории излучения. Слабость теории состоит, с одной стороны, в том, что она не приближает нас к объединению с волновой теорией, и, с другой стороны, в том, что она предоставляет «случаю» время и направление элементарных процессов; тем не менее я питаю полное доверие к надежности того пути, на который мы вступили».

Когда в 1920 г. при моем посещении Берлина я в первый раз встретился с Эйнштейном — что было для меня великим событием, — эти фундаментальные вопросы и были темой наших разговоров. Обсуждения, к которым я потом часто мысленно возвращался, добавили к моему восхищению Эйнштейном еще и глубокое впечатление от его непредвзятой научной позиции. Его пристрастие к таким красочным выражениям, как «призрачные поля, управляющие фотонами» («Gespensterfelder, die Photonen leiten»), не означало, конечно, что он склонен к мистицизму, но свидетельствовало о глубоком юморе, скрытом в его пронизательных замечаниях. И все-таки между нами оставалось некоторое расхождение в отношении нашей точки зрения и наших видов на будущее. При его мастерстве согласовывать, казалось бы, противоречащие друг другу факты, не отказываясь от непрерывности и причинности, Эйнштейн, быть может, меньше, чем кто-либо другой, был склонен отбросить эти идеалы, — меньше, чем кто-либо, кому такой отказ представлялся единственной возможностью согласовывать многообразный материал из области атомных явлений, накапливавшийся день ото дня при исследовании этой новой отрасли знаний.

В последующие годы, в течение которых атомные проблемы привлекали к себе внимание быстро растущего круга физиков, кажущиеся противоречия внутри квантовой теории ощущались все острее. Очень показательна дискуссия, возникшая в 1922 г. в связи с открытием эффекта Штерна и Герлаха. С одной стороны, этот эффект давал убедительное подтверждение представлению о стационарных состояниях и, в частности, для построенной Зоммерфельдом квантовой теории эффекта Зеемана; с другой же стороны, как ясно показали Эйнштейн и Эренфест [4], наличие такого эффекта ставило непреодолимые трудности перед всякой попыткой наглядно представить себе поведение атома в магнитном поле. Подобные же парадоксы возникли в результате открытия Комптоном (1924) изменения длины волны, сопровождающего рассеяние рентгеновых лучей электронами. Как известно, этот опыт дал самое непосредственное доказательство справедливости точки зрения Эйнштейна на перенос энергии и количества движения при процессах излучения. Однако в то же время было очевидно, что никакая простая картина явления как столкновения частиц не может дать исчерпывающего его описания. Под впечатлением таких трудностей временно возникли даже сомнения в сохранении энергии и количества движения в индивидуальных процессах излучения [5]. Такие сомнения, однако, вскоре исчезли перед лицом уточненных опытов, выяснивших наличие однозначного соотношения между отклонением фотонов и соответствующей отдачей электрона.

Путь к выяснению положения вещей был проложен только развитием более объемлющей теории квантов. Первым шагом к этой цели было предугадание де Бройлем (в 1925 г.) того факта, что двойственность волна-частица не ограничивается свойствами излучения, но в равной мере неизбежна и при описании поведения материальных частиц. Эта мысль была вскоре убедительно подтверждена опытами над явлениями интерференции электронов. Эйнштейн сразу же радостно приветствовал эту мысль, так как им уже была установлена глубоко лежащая аналогия между свойствами теплового излучения и свойствами газов в так называемом вырожденном состоянии [6]. Новая линия была с огромным успехом продолжена Шредингером (1926), который, в частности,

показал, как стационарные состояния атомной системы могут быть представлены при помощи собственных решений волнового уравнения. Путь к установлению вида волнового уравнения был ему указан формальной аналогией между механическими и оптическими проблемами, на которую впервые обратил внимание Гамильтон. Парадоксальные черты теории квантов, однако, нисколько не смягчились; они, пожалуй, даже обострились еще больше в силу кажущегося противоречия между требованиями свойственного волновому описанию общего принципа наложения и присущими атомным процессам чертами индивидуальности.

В это же время Гейзенберг (1925) заложил основы рациональной квантовой механики, которая получила быстрое развитие благодаря важным вкладам Борна и Иордана, а также Дирака. Теория вводит формальный аппарат, в котором кинематические и динамические переменные классической механики заменяются абстрактными символами, подчиняющимися некоммутативной алгебре. Несмотря на отказ от понятия траектории частицы, основные уравнения механики в их гамильтоновой канонической форме были сохранены без изменений, а постоянная Планка вошла лишь в перестановочные соотношения

$$qp - pq = \sqrt{-1} \frac{h}{2\pi}. \quad (2)$$

справедливые для каждой пары сопряженных переменных q и p . Вводя для абстрактных символов представление в форме матриц с элементами, относящимися к переходам между стационарными состояниями, оказалось возможным впервые дать принципу соответствия количественную формулировку. Напомним здесь, что важный предварительный шаг в этом направлении был сделан (в частности, Крамерсом) при построении квантовой теории дисперсии; в основе этой теории лежат эйнштейновские общие правила для вероятностей процессов поглощения и испускания.

Как было вскоре показано Шредингером, эта матричная форма квантовой механики приводит к результатам, совпадающим с теми, какие можно получить с помощью методов волновой теории, которые часто оказываются более удобными в математическом отно-

шении. В последующие годы были постепенно разработаны общие методы такого описания атомных процессов, которое, по существу, является статистическим; эти методы объединили логически непротиворечивым образом характерную для квантовой теории черту неделимости атомных процессов с требованиями, вытекающими из принципа наложения.

Из многочисленных достижений этого времени упомянем прежде всего, что аппарат квантовой механики позволил дать формулировку принципу, которому подчиняются состояния систем с несколькими электронами; этот принцип был установлен Паули на основании анализа атомных спектров еще до построения квантовой механики. Количественный охват большого эмпирического материала не оставлял больше сомнений в плодотворности и пригодности аппарата квантовой механики; однако абстрактный характер этого аппарата вызывал широко распространенное чувство неудовлетворенности. В самом деле, прояснить положение вещей можно было здесь только путем более глубокого исследования проблемы наблюдений в атомной физике.

Эта фаза развития была, как известно, начата в 1927 г. Гейзенбергом [7], указавшим на то, что данные о состоянии атомной системы всегда страдают своеобразной «неопределенностью». Так, всякое измерение положения электрона при помощи прибора, работающего на высокочастотном излучении (например, микроскопа), связано, согласно основным уравнениям (1), с обменом импульсом между электроном и измерительным прибором, причем этот обмен будет тем больше, чем точнее стремятся измерить положение. Сравнивая такие рассуждения с требованиями, вытекающими из формального аппарата квантовой механики, Гейзенберг обратил внимание на тот факт, что перестановочное соотношение (2) накладывает на точность, с которой могут быть фиксированы две сопряженные переменные q и p , взаимное ограничение, выражающееся зависимостью

$$\Delta q \cdot \Delta p \approx h, \quad (3)$$

причем Δq и Δp представляют неопределенности в измеряемых значениях этих переменных. Это соотношение неопределенностей указывает на тесную связь между принятым в квантовой механике статистическим способом

описания и фактическими измерительными возможностями. Как показал Гейзенберг, оно имеет благодаря этому величайшее значение для объяснения парадоксов, к которым приводят попытки анализа квантовых эффектов при помощи обычных физических представлений.

На международном конгрессе физиков в Комо, посвященном памяти Вольты и созванном в сентябре 1927 г., новейшие успехи атомной физики были предметом обстоятельных дискуссий. В своем докладе [8] я развил тогда точку зрения, которую кратко можно охарактеризовать словом «дополнительность»; эта точка зрения позволяет, с одной стороны, охватить характерную для квантовых процессов черту неделимости и, с другой стороны, разъяснить существующие в этой области особенности постановки задачи о наблюдении. Для этого решающим является признание следующего основного положения: *как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные (evidence) должны описываться при помощи классических понятий.*

Обоснование этого состоит просто в констатации точного значения слова «эксперимент». Словом «эксперимент» мы указываем на такую ситуацию, когда мы можем сообщить другим, что именно мы сделали и что именно мы узнали. Поэтому экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться однозначным образом на языке классической физики.

Из этого основного положения, обсуждение которого стало главной темой излагаемой здесь дискуссии, можно сделать следующий вывод. *Поведение атомных объектов невозможно резко отграничить от их взаимодействия с измерительными приборами, фиксирующими условия, при которых происходят явления.* В самом деле, неделимость типичных квантовых эффектов проявляется в том, что всякая попытка подразделить явления требует изменения экспериментальной установки и тем самым влечет за собой новые возможности принципиально неконтролируемого взаимодействия между объектами и измерительными приборами. Вследствие этого данные, полученные при разных условиях опыта, не могут быть охвачены одной-единственной картиной; эти данные должны скорее рассматриваться как *дополнительные* в том

смысле, что только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта.

При этих обстоятельствах приписывание атомным объектам обычных физических атрибутов существенным образом связано с неоднозначностью; непосредственно это обнаруживается в дилемме, касающейся корпускулярных и волновых свойств электронов и фотонов, где мы имеем дело с как бы противоречащими друг другу картинками, из которых каждая представляет существенную сторону того, что дает нам опыт. Все кажущиеся парадоксы могут быть устранены путем исследования тех (несовместимых) условий опыта, при которых наблюдаются дополнительные явления. Поучительным примером этого может служить эффект Комптона, непротиворечивое описание которого вначале представляло такие большие трудности. В этом примере разъяснение состоит в том, что всякая установка, пригодная для изучения обмена энергией и количеством движения между электронами и фотонами, необходимо должна оставлять в пространственно-временной локализации процесса допуски, достаточные для того, чтобы придать определенность понятиям волнового числа и частоты [эти величины входят в уравнение (1)]. И обратно, всякая попытка более точного определения места столкновения между фотоном и электроном сделала бы невозможным подведение более точного баланса энергии и количества движения; невозможность эта обусловлена неизбежным взаимодействием с неподвижными масштабами и часами, определяющими пространственно-временную систему отсчета.

Как подчеркнуто в докладе, надлежащим средством для дополнительного описания как раз и служит формальный аппарат квантовой механики. Этот формальный аппарат представляет собою чисто символическую схему, позволяющую делать предсказания результатов опытов, производимых в определенных условиях, которые должны характеризоваться при помощи классических понятий. Эта схема связана с классической теорией принципом соответствия. Следует напомнить, что и в отношении неопределенности (3) мы имеем дело с таким следствием формального аппарата, которое не может быть недвусмысленно выражено словами, приспособленными для описания классической картины

физического явления. Так, после фразы: «Мы не можем одновременно узнать положение и количество движения атомного объекта» — немедленно возникает вопрос о физической реальности двух таких атрибутов объекта; а на этот вопрос можно ответить, только исследуя условия для недвусмысленного применения пространственно-временных понятий, с одной стороны, и динамических законов сохранения — с другой. Объединение этих понятий в цельную картину причинной цепи явлений составляет сущность классической механики. Что касается закономерностей, находящихся вне досягаемости такого классического описания, то место для них освобождается именно благодаря тому, что изучение дополнительных явлений требует взаимно исключающих экспериментальных установок.

Возникшая в атомной физике необходимость заново рассмотреть те основания, на которые должно опираться непротиворечивое применение элементарных физических идей, напоминает в некотором смысле ситуацию, с которой столкнулся в свое время Эйнштейн. Эта ситуация побудила Эйнштейна пересмотреть основания, на которые опираются все применения пространственно-временных понятий, и благодаря тому, что в процессе пересмотра было подчеркнута фундаментальное значение проблемы наблюдения, в результате чего наше физическое мировоззрение приобрело замечательную стройность и единство. Несмотря на всю новизну и необычность способа рассмотрения, теория относительности сохраняет причинное описание, применяемое внутри каждой данной системы отсчета; в квантовой же механике мы вынуждены отказаться и от этого, отказаться из-за неконтролируемого взаимодействия между объектами и измерительными приборами. Этот факт, однако, отнюдь не указывает на ограниченность или неполноту квантовомеханического описания, и приведенная в моем докладе в Комо аргументация как раз имела целью показать, что точка зрения «дополнительности» может рассматриваться как разумное обобщение идеала причинности.

Во время общей дискуссии в Комо нам всем недоставало Эйнштейна. Но вскоре после этого, в октябре 1927 г., я имел возможность встретиться с ним в Брюсс-

селе на 5-м Физическом конгрессе Института Сольвей, посвященном теме «Электроны и фотоны». На Сольвейских съездах Эйнштейн всегда был одной из самых заметных фигур, и многие из нас пришли на это заседание в надежде узнать, какова будет реакция Эйнштейна на новейший этап развития теории — этап, который, по нашему мнению, принес удовлетворительное разъяснение проблем, впервые выдвинутых с такой пронизательностью самим Эйнштейном. Во время дискуссий тема

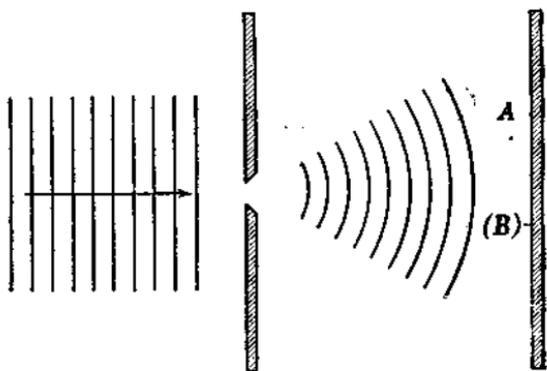


Рис. 1

была освещена докладами со многих сторон; в частности, были доложены и соображения, изложенные на предыдущих страницах. Эйнштейн же выразил свою глубокую тревогу по поводу того, что в квантовой механике так далеко отошли от причинного описания в пространстве и времени.

Чтобы пояснить свою точку зрения, Эйнштейн привел на одном из заседаний [9] простой пример частицы (электрона или фотона), проникающей через отверстие или узкую щель в экране, за которым на некотором расстоянии поставлена фотографическая пластинка (рис. 1). Благодаря тому что связанная с движением частицы волна претерпевает дифракцию (на рисунке эта волна изображена тонкими линиями), при этих условиях нельзя с уверенностью предсказать, в какой точке электрон попадет на фотографическую пластинку: можно только вычислить вероятность обнаружить электрон на опыте в некоторой заданной части пластинки. С таким

описанием процесса связано одно кажущееся затруднение, которое сильно смущало Эйнштейна. Это затруднение состоит в следующем: если на опыте электрон был зарегистрирован в точке *A* пластинки, то тем самым совершенно исключается возможность наблюдать какое-либо действие этого электрона в другой точке *B*, хотя законы обычного распространения волн не допускают какой-либо корреляции между двумя такими событиями.

Точка зрения Эйнштейна развязала в более тесном кругу горячие споры. Самое живое и стимулирующее участие принимал в этих спорах и Эренфест, уже много лет связанный с нами обоими тесной дружбой. Разумеется, все мы поняли, что в приведенном выше примере положение не представляет аналогии статистическому рассмотрению сложных механических систем. Положение это скорее напоминало то, которое явилось предпосылкой для выводов, сделанных ранее самим Эйнштейном об определенной направленности индивидуальных излучательных эффектов, выводов, стоящих в столь резко противоречии с простой волновой картиной (ср. стр. 55—56). Центральным вопросом, вокруг которого шел спор, был вопрос о том, исчерпывает ли квантово-механическое описание то, что можно действительно наблюдать, или же, как настаивал Эйнштейн, анализ можно вести дальше; и нельзя ли в последнем случае достигнуть более полного описания явлений путем учета детального баланса энергии и количества движения в элементарных процессах.

Для пояснения хода мыслей Эйнштейна в его рассуждениях укажем здесь на некоторые простые особенности баланса количества движения и энергии в связи с определением положения частицы в пространстве и времени. Для этого мы рассмотрим простой случай частицы, проникающей через отверстие в диаграмме, причем отверстие или всегда открыто (рис. 2а), или же может открываться и закрываться при помощи затвора (рис. 2б). Параллельные равно отстоящие линии на левой стороне рисунка изображают последовательность плоских волн, соответствующую состоянию движения частицы, которая до прохода через диафрагму имеет количество движения P , связанное с волновым числом ν вторым уравнением (1). Благодаря дифракции волн при проходе через отверстие, состояние движения частицы

справа от диафрагмы изображается последовательностью сферических волн с определенным углом раствора θ , в случае рис. 2б последовательность эта ограничена также и в радиальном направлении. Следовательно, описание этого состояния содержит неопределенность Δr в составляющей количества движения частицы, параллельной плоскости диафрагмы; в случае диафрагмы с затвором имеется также неопределенность ΔE в кинетической энергии частицы.

Так как неопределенность Δq в положении частицы на плоскости диафрагмы измеряется радиусом отверстия a и так как $\theta \approx 1/oa$, то, применяя (1), мы получим как

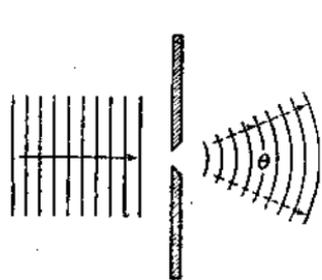


Рис. 2а

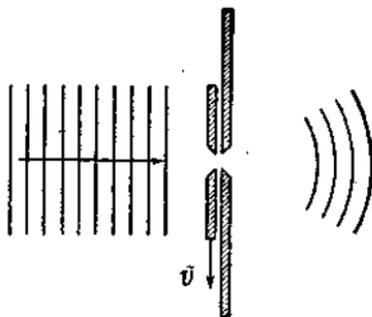


Рис. 2б

раз $\Delta p \approx \theta P \approx h/\Delta q$ в согласии с соотношением неопределенностей (3). Этот результат можно было бы получить и непосредственно, если учесть пространственную ограниченность волнового поля в том месте, где находится отверстие. Вследствие этого обстоятельства составляющая волнового числа, параллельная плоскости диафрагмы, определена лишь внутри промежутка шириной

$\Delta \sigma \approx \frac{1}{a} \approx \frac{1}{\Delta q}$. Подобно этому, ширина разброса частот

гармонических составляющих в ограниченной последовательности волн на рис. 2б равна, очевидно, $\Delta \nu \approx 1/\Delta t$, причем Δt означает промежуток времени, в течение которого затвор оставляет отверстие открытым; тем самым Δt представляет неопределенность в моменте прохождения частицы сквозь диафрагму. Отсюда по формуле (1) мы получим

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx h, \quad (4)$$

опять-таки в согласии с уравнением (3) для обеих сопряженных переменных E и t .

С точки зрения законов сохранения происхождение таких неопределенностей (входящих в описание состояния частицы после прохождения ее сквозь диафрагму) можно отнести за счет возможности обмена количеством движения и энергией с диафрагмой или же с затвором. В системе отсчета, которая рассматривается на рис. 2а и 2б, скоростью диафрагмы можно пренебречь; тогда нужно будет принимать во внимание один только обмен количеством движения между частицей и диафрагмой. Но затвор, который держит отверстие открытым в течение времени Δt , движется со значительной скоростью $v = a/\Delta t$. Поэтому с переносом количества движения Δp будет связан и обмен энергией с частицей, равный

$$v \Delta p \approx \frac{\Delta q \Delta p}{\Delta t} \approx \frac{h}{\Delta t},$$

т. е. точно такого же порядка величины, как и неопределенность в энергии ΔE , получаемая из (4), так что закон сохранения количества движения и энергии будет соблюдаться.

Задача, поставленная Эйнштейном, состояла в том, чтобы выяснить, до какой степени контроль над переносом количества движения и энергии (переносом, связанным с определением положения частицы) может быть использован для более детального описания состояния частицы после ее прохождения через дырку. При этом мы должны иметь в виду следующее. До сих пор диафрагма и затвор считались точно связанными с пространственно-временной системой отсчета, так что положение и движение их в этой системе считались точно известными. Такое предположение означает существенную неопределенность в энергии и количестве движения этих тел, которая, впрочем, может и не влиять заметным образом на скорости, если только диафрагма и затвор достаточно тяжелы. Однако, как только мы захотим узнать количество движения и энергию этих частей измерительного прибора с такой точностью, которая была бы достаточной для контролирования обмена количеством движения и энергией с исследуемой частицей, дело изменится. Мы потеряем тогда — в согласии с общими соотношениями неопределенностей — возможность

точного определения положения диафрагмы и затвора в пространстве и времени. Поэтому мы должны проследить, до какой степени это обстоятельство повлияет на предполагаемое использование всей установки, и как раз этот кардинальный пункт и выявляет, как мы увидим, дополнительный характер явлений.

Возвращаясь на минуту к случаю простой установки, изображенной на рис. 1, заметим, что мы еще не уточнили, для чего она должна служить. В самом деле, невозможность более точно предсказать место попадания частицы на фотографическую пластинку логически вытекает из аппарата квантовой механики только в том случае, если предположить, что диафрагма и пластинка имеют точно определенные положения в пространстве. Если же допустить достаточно большую неточность в знании положения диафрагмы, то в принципе должно быть возможно проконтролировать передачу количества движения на диафрагму и тем самым сделать более точные предсказания относительно направления пути электрона от дырки до точки встречи с пластинкой. С точки зрения квантово-механического описания мы имеем здесь дело с системой двух тел, состоящей из диафрагмы и частицы. Непосредственное применение законов сохранения к системе именно такого рода встречается при изучении эффекта Комптона; например, наблюдение отдачи электрона при помощи камеры Вильсона дает нам возможность предсказать, в каком направлении будет наблюдаться рассеянный фотон.

В ходе дискуссий важность такого рода рассуждений была освещена на очень интересном примере установки, в которой между экраном со щелью и фотографической пластинкой поставлен второй экран с двумя параллельными щелями, как показано на рис. 3. Если параллельный пучок электронов (или фотонов) падает слева на первую диафрагму, то при обычных условиях опыта мы будем наблюдать на фотопластинке интерференционную картину, изображенную штриховкой на правой стороне рисунка (вид фотопластинки спереди). При интенсивном облучении эта картина складывается путем накопления многочисленных единичных процессов, причем каждый из них дает по одному маленькому пятну на фотографической пластине. Распределение этих пятен следует простому закону, который выводится из волнового

анализа. Такое же распределение должно получаться и из статистики по большому числу опытов, произведенных с облучением столь слабым, что при каждой отдельной экспозиции до пластинки дойдет только один электрон (или фотон), который и проявится в одной-единственной точке, как это показано звездочкой на рисунке. В этом случае следует ожидать, что импульс, сообщенный первой диафрагмой, будет различным в зависимости от того, пройдет ли электрон сквозь верхнюю или сквозь нижнюю щель второй диафрагмы (см. пунктирные стрелки на рис. 3). Опираясь на это, Эйнштейн указал,

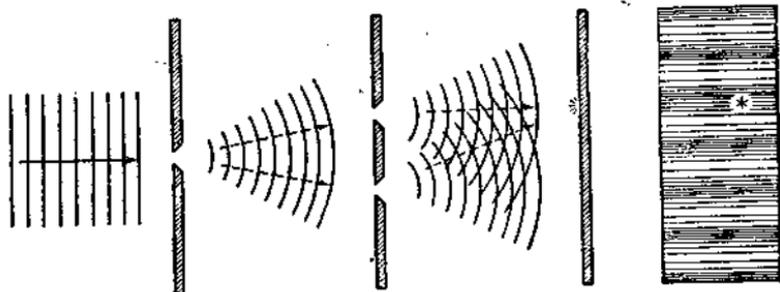


Рис. 3

что контроль над переданным импульсом позволил бы произвести более подробный анализ процесса и, в частности, дал бы возможность решить, через которую из двух щелей прошел электрон перед тем, как попасть на пластинку.

Более тщательное рассмотрение показало, однако, что предложенный контроль над передачей количества движения невозможен без неточности в знании положения диафрагмы, неточности, исключающей возникновение интерференционных явлений. Действительно, если ω означает малый угол между предполагаемыми путями частицы через верхнюю и через нижнюю щели, то разность между переданными импульсами в обоих случаях будет, согласно (1), равна $h\omega$ и всякий контроль над количеством движения диафрагмы с точностью, достаточной для измерения этой разности, повлечет за собой неточность в определении положения диафрагмы по крайней мере порядка $1/\omega$, согласно соотношению неопределенностей. Если диафрагма с двумя щелями поставлена посередине между первой диафрагмой и фото-

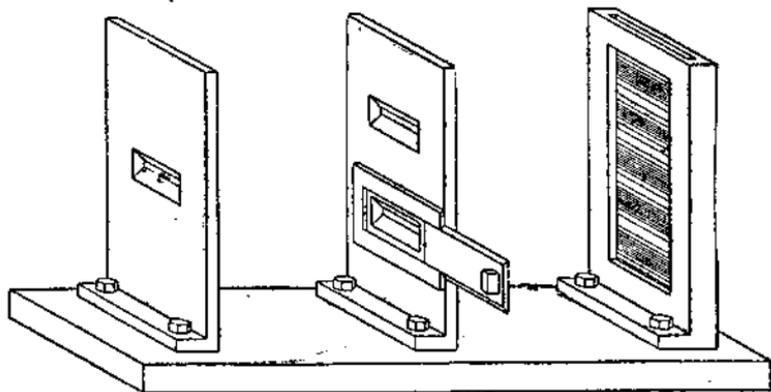
пластинкой, как на рис. 3, то видно, что число полос на единицу длины как раз равно ω ; а так как неопределенность $1/\omega$ в положении первой диафрагмы вызывает такую же неопределенность в положении полос, то, следовательно, никакой интерференции произойти не может. Такой же результат получается, как легко можно показать, для любого другого положения второй диафрагмы между первой диафрагмой и пластинкой; то же самое получилось бы, если бы для контроля (с вышеуказанной целью) над передачей импульса употреблялась не первая диафрагма, а вторая, или же фотопластинка.

Этот пункт логически очень важен, так как только то обстоятельство, что мы стоим перед выбором *или* следовать за траекторией частицы, *или же* наблюдать интерференцию, позволяет нам избежать парадоксального вывода о том, что поведение электрона или фотона должно зависеть от наличия в экране щели, сквозь которую он заведомо не проходил. Мы имеем здесь типичный пример того, как дополнительные явления протекают при взаимно исключающих друг друга экспериментальных условиях (стр. 60); при анализе квантовых эффектов мы стоим перед невозможностью провести резкую границу между поведением атомных объектов самих по себе и их взаимодействием с измерительными приборами, которые определяют самые условия возникновения явлений.

Наши разговоры о той позиции, которую следует занять перед лицом новой ситуации в области анализа и синтеза опытов, естественно, коснулись многих вопросов философского порядка; но при всем различии в нашем подходе и в наших мнениях споры воодушевлялись духом юмора. Со своей стороны Эйнштейн насмешливо спрашивал нас, неужели мы действительно верим, что божественные силы прибегают к игре в кости («...ob der liebe Gott würfelt»), а я на это отвечал, что уже мыслители древности указывали на необходимость величайшей осторожности в присвоении провидению атрибутов, выраженных в понятиях повседневной жизни. Я вспоминаю также, как в самый разгар спора Эренфест, со свойственной ему милой манерой поддразнивать своих друзей, шутливо указал на очевидную аналогию между позицией Эйнштейна и той позицией, которую

занимают противники теории относительности. Но тотчас же Эренфест добавил, что он не обретет душевного покоя до тех пор, пока не будет достигнуто согласие с Эйнштейном.

Сомнения Эйнштейна и его критика дали нам всем чрезвычайно ценный толчок к тому, чтобы вновь рассмотреть различные аспекты той ситуации, с которой мы сталкиваемся при описании атомных явлений. Я был



Р и с. 4

рад воспользоваться этим поводом, чтобы еще отчетливее выяснить роль измерительных приборов; и для того, чтобы возможно яснее и нагляднее показать взаимно исключающий характер условий опытов, при которых возникают дополнительные явления, я попробовал тогда набросать различные приборы в псевдореалистическом стиле, примеры которого показаны на приведенных здесь рисунках. Для изучения такого явления интерференции, как на рис. 3, естественно использовать экспериментальную установку, изображенную на рис. 4. Здесь неподвижные части прибора (диафрагмы и подставка для пластинки) закреплены шурупами на общей доске. В такой установке наше знание относительных положений диафрагм и пластинки обеспечивается жестким креплением их; но благодаря ему здесь, очевидно, невозможно контролировать перенос количества движения от частицы к различным частям прибора. Един-

стенная при такой установке возможность убедиться, что частица прошла через одну определенную щель во втором экране, состоит в том, чтобы закрыть другую щель затвором, как показано на рис. 4. Но если щель закрыта, то, конечно, не может возникнуть и интерференция, и мы будем наблюдать на пластинке сплошное распределение, как и в случае одной неподвижной диафрагмы на рис. 1.

При изучении явлений, для описания которых необходимо знание детального баланса количества движения, очевидно, нужно допустить, чтобы некоторые части всего прибора могли свободно двигаться (независимо друг от друга). На рис. 5 изображен такой прибор, в котором экран со щелью подвешен на твердом яре при помощи слабых пружинок. Яро привинчено к той же доске, на которой укреплены и остальные неподвижные части установки. С помощью шкалы на экране и стрелки на стойках яра можно изучать движение экрана в той мере, в какой это нужно для оценки количества движения, перенесенного на экран. Это позволяет судить о том отклонении, которое испытывает частица при прохождении через щель. Но так как всякий отсчет по шкале, каким бы образом он ни был произведен, влечет за собой неконтролируемое изменение количества движения экрана, то в согласии с принципом неопределенности всегда будет существовать обратное взаимоотношение между точностью нашего знания положения щели и точностью контроля количества движения.

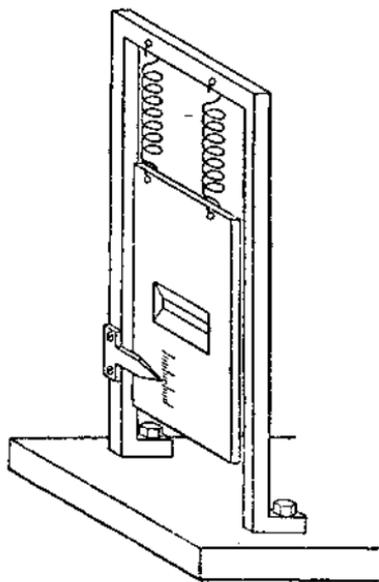


Рис. 5

В таком же полусерьезном стиле рис. 6 показывает экспериментальную установку, пригодную для изучения явлений, которые — в противоположность только что

рассмотренным — требуют также и координации во времени. Установка состоит из прибора, в котором затвор жестко соединен с солидными часами, обладающими сильной пружиной; часы закреплены на той же доске, где стоит и экран. Кроме часов и экрана, на той же доске должны быть закреплены и другие части аналогичного назначения, приводимые в действие либо тем же часовым

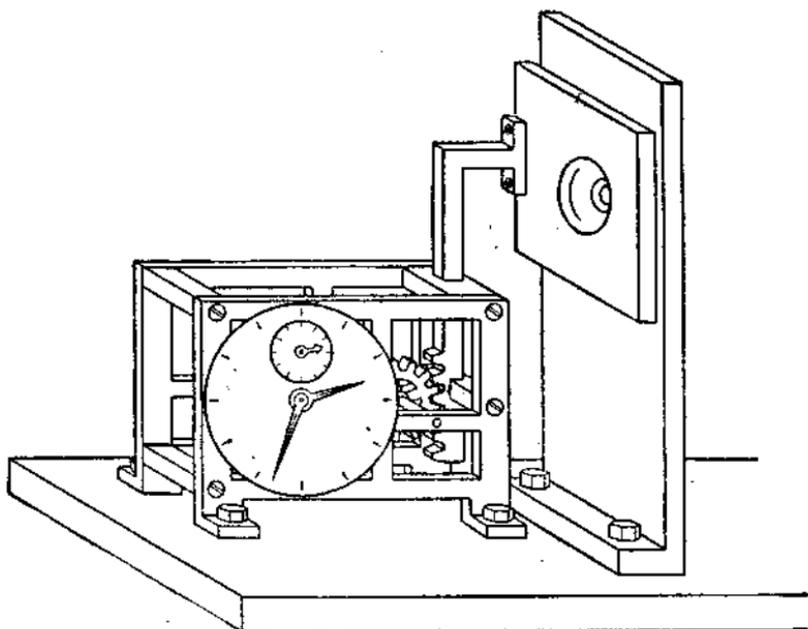


Рис. 6

механизмом, либо другими синхронными с ним часами. Рисунок должен подчеркнуть тот факт, что часы представляют собой машину, работа которой может быть полностью описана средствами обычной механики, причем ни отсчет положения стрелок, ни взаимодействие между атомной частицей и отдельными частями этой машины не оказывают на ее работу никакого влияния. Поскольку прибор такого типа может осуществлять открывание дырки в определенный момент, он мог бы, например, служить для точного измерения времени,

которое требуется электрону или фотону, чтобы пройти от диафрагмы до какого-нибудь другого места; но очевидно, что он не дает возможности измерять передачу энергии на затвор и тем самым выводить заключения об энергии частицы, пролетевшей через диафрагму. Совершенно ясно, что если нас интересуют такого рода заключения, то мы должны будем пользоваться установкой, в которой механизм затвора уже не может служить точными часами; в этой установке определение момента, в который дырка была открыта, содержит неточность, связанную с неточностью в измерении энергии общей формулой (4).

Рассмотрение таких более или менее осуществимых установок и их более или менее фиктивного употребления оказалось чрезвычайно поучительным благодаря тому, что оно направило внимание на самые существенные черты рассматриваемых проблем. При этом главным пунктом является проведение различия между изучаемыми *объектами* и *измерительными приборами*, которые служат для того, чтобы можно было на языке классической физики фиксировать условия, в каких наблюдаются явления.

Упомянем здесь, что опыты, в которых предполагается измеримым перенос количества движения и энергии от атомных частиц к тяжелым телам вроде диафрагм и затворов, едва ли выполнимы практически. Однако это обстоятельство не умаляет их значения как иллюстрации тех общих положений, о которых шла речь выше. Решающим является здесь то, что в такого рода опытах тела, участвующие в обмене количеством движения и энергией с частицами, входят наряду с ними в состав системы, к которой следует применять формальный аппарат квантовой механики. Что касается спецификации условий, необходимых для однозначного применения этого формального аппарата, то здесь важно то, что эти условия должны характеризовать *всю установку в целом*. В самом деле, присоединение какой-либо новой части прибора, например зеркала, поставленного на пути частицы, вызвало бы новые интерференционные явления, каковые могут существенно повлиять на предсказания возможных результатов, которые в конце концов регистрируются.

Отказ от наглядного представления атомных явлений обусловлен невозможностью подразделить их и тем самым проследить их более детально. Масштабы этого отказа прекрасно иллюстрируются следующим примером, на который Эйнштейн обратил наше внимание с самого начала и к которому он часто возвращался. Пусть на пути фотона помещено полупрозрачное зеркало, предоставляющее ему для направления его дальнейшего распространения две возможности. Тогда фотон может быть зарегистрирован на одной и только на одной из двух фотографических пластинок, находящихся на большом расстоянии друг от друга на упомянутых направлениях; если же мы заменим пластинки зеркалами, то мы сможем наблюдать явления, показывающие, что обе отраженные волны интерferируют. При всякой попытке наглядно представить себе поведение фотона мы, стало быть, встретились бы со следующим затруднением: с одной стороны, мы должны были бы сказать, что фотон всегда выбирает *один* из двух путей, с другой стороны, он ведет себя так, как если бы он пошел по *обоим* путям сразу.

Такого рода аргументы как раз и напоминают о невозможности подразделять квантовые явления; они вскрывают также неоднозначность, присущую надделению атомных объектов обыкновенными физическими качествами. В особенности нужно себе уяснить следующее. Если не считать описания пространственного размещения частей прибора и их действия во времени, то всякое однозначное применение пространственно-временных представлений к описанию атомных явлений сводится к регистрации наблюдений, относящихся к следам на фотопластинке или к аналогичным практически необратимым усилительным эффектам, как, например, образование капельки воды вокруг иона в камере Вильсона. Правда, свойства материалов, из которых построены измерительные приборы и которые обеспечивают работу регистрирующих устройств, сами обусловлены в конечном счете существованием кванта действия. Но это обстоятельство не является существенным для проблемы адекватности и полноты квантовомеханического описания в том ее аспекте, которым мы здесь занимались.

Эти проблемы подверглись всестороннему и поучительному обсуждению на Сольвейском конгрессе [10], на том же заседании, на котором Эйнштейн выдвинул свои общие возражения. По этому поводу возник также интересный спор о том, как следует говорить о появлении таких явлений, о которых можно дать предсказание лишь статистического характера. Спор вертелся вокруг вопроса, следует ли применять к осуществлению отдельного эффекта (из числа возможных) терминологию, предложенную Дираком, согласно которой мы имеем дело с выбором со стороны «природы», или же мы должны говорить, как это предложил Гейзенберг, о выборе со стороны «наблюдателя», построившего измерительные приборы и сделавшего отсчет результатов. Любая такая терминология представляется, однако, сомнительной; в самом деле, с одной стороны, едва ли допустимо приписывать природе волю в обычном смысле, а с другой стороны, наблюдатель никак не может повлиять на события, которые протекают при созданных им условиях. По моему мнению, у нас нет никакого другого выхода, как признать, что в этой области физики мы имеем дело с элементарными (неделимыми) явлениями и что все, что мы можем сделать при помощи различных измерительных приборов, сводится к выбору между различными дополнительными типами явлений, которые мы хотим исследовать.

Затронутые здесь проблемы теории познания разобраны подробнее в моей статье в юбилейном номере журнала «Naturwissenschaften», выпущенном по поводу 70-летия со дня рождения Планка в 1929 г. Эта статья содержит также сравнение между тем уроком, который был извлечен из открытия универсального кванта действия, и теми выводами из существования конечной скорости света, которые были сделаны Эйнштейном, чья новаторская работа так сильно прояснила основные принципы естествознания. Благодаря особому упору на зависимость всех явлений от системы отсчета теория относительности указала совершенно новые пути для установления общих физических законов в бесприммерно широкой области. В теории квантов, говорилось в статье, логическое уяснение неизвестных ранее фундаментальных закономерностей, управляющих атомными процессами, приводит к признанию того, что нельзя

провести резкое разграничение между независимым поведением объектов и их взаимодействием с измерительными приборами, определяющими систему отсчета.

В этом отношении квантовая механика ставит нас перед новой ситуацией в области физики. Я указал, однако, что во многих других областях человеческого знания и человеческой деятельности мы встречаемся в отношении анализа и синтеза опыта с ситуацией, которая представляет близкую аналогию с описанной выше. Как известно, многие из затруднений, встречающихся в психологии, возникают из-за того, что при анализе различных аспектов психической жизни граница между объектом и субъектом проводится в различных местах. В самом деле, такие слова, как «мысли» и «чувства», одинаково необходимые для описания объема и богатства сознательной жизни, употребляются в дополнительном смысле, подобно тому как в атомной физике употребляются пространственно-временная координация, с одной стороны, и динамические законы сохранения — с другой. Точная формулировка таких аналогий связана, конечно, с терминологическими трудностями, и точка зрения автора, пожалуй, всего яснее выражается в имеющемся в статье указании на взаимно исключающее соотношение, которое всегда существует между практическим применением слова и попыткой его точного определения. Рассуждения эти возникли отчасти в надежде повлиять на позицию Эйнштейна, но главная их цель состояла в том, чтобы обратить внимание на возможность рассмотрения общих проблем теории познания в свете того урока и тех знаний, которые дало нам изучение новых, но по существу простых физических закономерностей.

При следующей встрече с Эйнштейном на Сольвейской конференции 1930 г. наши дискуссии приняли совсем драматический характер. Мы видели, что если назначение измерительных приборов состоит в том, чтобы определять пространственно-временные рамки явлений, то контроль над обменом количеством движения и энергии между объектами и приборами исключается. В качестве возражения против этой точки зрения Эйнштейн выдвинул довод, что такой контроль якобы возможен,

если принимать во внимание требования теории относительности. В частности, общая зависимость между энергией и массой, выраженная знаменитой формулой Эйнштейна

$$E = mc^2, \quad (5)$$

якобы позволяет измерить полную энергию системы при помощи простого взвешивания и, таким образом, в принципе контролировать энергию, перенесенную на систему за время ее взаимодействия с атомным объектом.

В качестве подходящей для этого установки Эйнштейн предложил прибор, схема которого набросана на рис. 7. Он состоит из ящика с отверстием в одной из

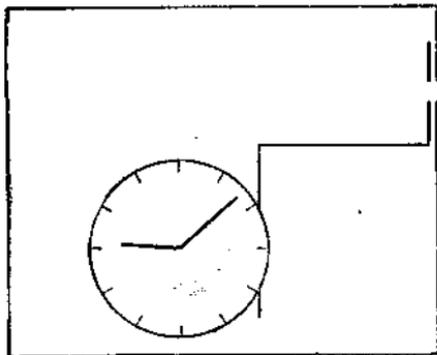


Рис. 7

стенок, причем отверстие можно открывать или закрывать затвором, приводимым в движение при помощи часового механизма, помещенного внутри ящика. Пусть вначале ящик содержит излучение, а часы отрегулированы так, что в определенный момент их механизм открывает затвор на очень короткое время. Таким устройством можно было бы достигнуть того, что в момент времени, который будет известен с любой желаемой точностью, через отверстие пройдет один-единственный фотон. Но, кроме того, взвешивая ящик до и после этого события, казалось бы, можно измерить энергию фотона с любой желаемой точностью — в прямом противоречии с квантово-механическим соотношением неопределенности для энергии и времени.

Это возражение означало серьезный вызов и заставило заново продумать всю проблему. Результатом

дискуссии, выяснению которого деятельно содействовал и сам Эйнштейн, был, однако, тот вывод, что возражение несостоятельно. При ближайшем рассмотрении выясни-

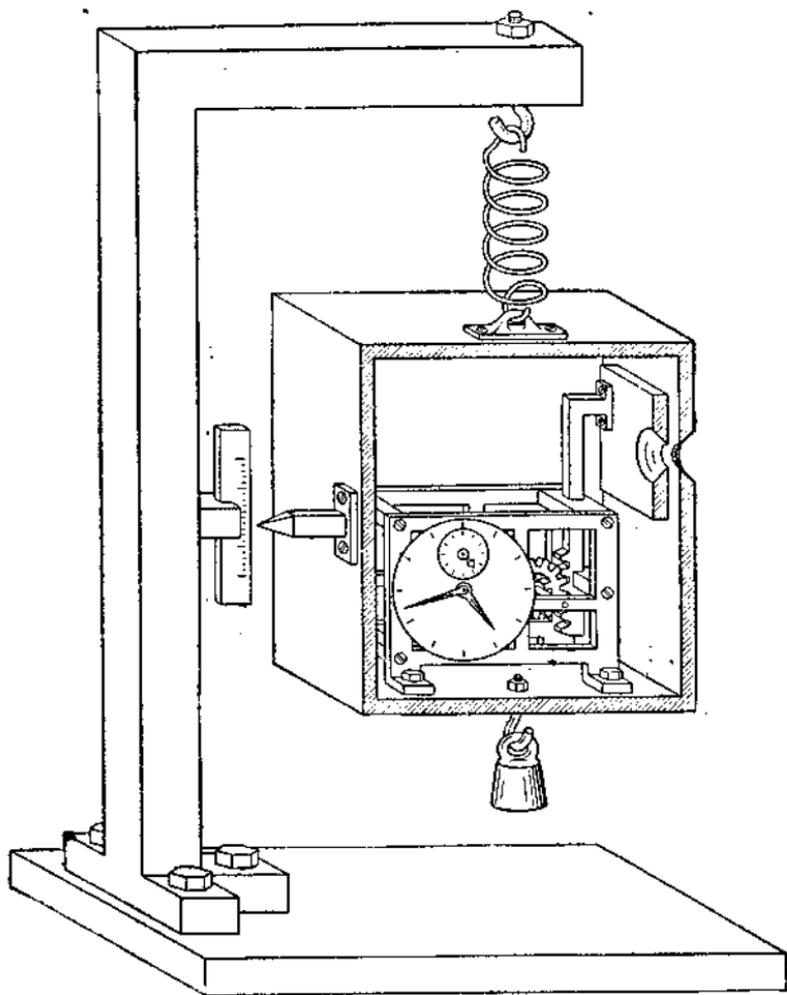


Рис. 8

лась необходимость тщательнее исследовать следствия, вытекающие из отождествления инертной и тяготеющей массы, предполагаемого в применениях уравнения (5). В частности, необходимо было принять во внимание

зависимость между ходом часов и их положением в поле тяготения, — зависимость, хорошо известную из красного смещения линий в спектре солнца и следующую из принципа Эйнштейна об эквивалентности действий силы тяжести и явлений, наблюдаемых в ускоренных системах отсчета.

Наша дискуссия сконцентрировалась на возможных применениях прибора, составной частью которого является установка, предложенная Эйнштейном. Такой прибор изображен на рис. 8 в том же псевдореалистическом стиле, как и некоторые из рисунков, приведенных раньше. Ящик, изображенный в разрезе, чтобы видно было его внутреннее устройство, подвешен на пружинных весах; положение ящика можно при помощи стрелки отсчитывать на шкале, укрепленной на подставке весов. Тогда взвешивание ящика можно произвести с любой заданной точностью Δm , устанавливая весы в нулевом положении при помощи соответствующих гирь. Но дело в том, что всякое определение этого положения с заданной точностью Δq влечет за собой неопределенность Δp в значении количества движения ящика, причем Δp связано с Δq уравнением (3).

Эта неопределенность, очевидно, должна опять-таки быть меньше, чем полное количество движения, которое может быть передано полем тяготения телу с массой Δm , в течение всего времени T , занятого процессом взвешивания; отсюда следует

$$\Delta p \approx \frac{h}{\Delta q} < Tg \Delta m, \quad (6)$$

где g есть ускорение силы тяжести. Чем точнее выполнен отсчет q по указателю, тем продолжительнее должно быть время взвешивания T , если нужно получить заданную точность Δm при взвешивании ящика с содержанием.

С другой стороны, по общей теории относительности часы, передвинутые в направлении силы тяготения на величину Δq , изменят свой ход таким образом, что их показание на протяжении промежутка времени T отклонится на величину ΔT , заданную уравнением

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{c^2} g \Delta q. \quad (7)$$

Поэтому, сравнивая (6) и (7), мы видим, что после

взвешивания наши знания показаний часов содержат неопределенность

$$\Delta T = \frac{h}{c^2 \Delta m}.$$

Вместе с (5) эта формула приводит к соотношению

$$\Delta T \Delta E > h$$

в согласии с принципом неопределенности. Вследствие этого употребление прибора как средства для точного измерения энергии фотона мешает нам установить точный момент его вылета.

Эта дискуссия, так ярко показавшая силу и последовательность релятивистских аргументов, подчеркнула еще раз необходимость различать, при изучении атомных объектов, между собственно измерительными приборами, служащими для определения системы отсчета, и теми частями прибора, которые нужно рассматривать как объекты исследования и при описании коих нельзя пренебрегать квантовыми эффектами. Несмотря на столь убедительное подтверждение логичности и широты квантово-механического способа описания, Эйнштейн тем не менее выразил мне в последующем разговоре свое чувство неудовлетворенности тем, что, как ему кажется, нам недостает таких твердо установленных принципов для описания природы, с которыми все могли бы согласиться. Исходя из своей точки зрения, я мог только ответить, что, задавшись целью навести порядок в совершенно новой области знаний, мы едва ли можем полагаться на какие-либо старые принципы, хотя бы и очень общие. Единственным обязательным требованием является отсутствие логических противоречий, но как раз в этом отношении математический аппарат квантовой механики удовлетворяет самым жестким условиям.

Сольвейский конгресс 1930 г. был последним случаем, когда в наших дискуссиях с Эйнштейном мы могли воспользоваться присутствием Эренфеста, подзадоривавшего нас к спору и вместе с тем выступавшего в качестве посредника. Но незадолго до своей трагической смерти в 1933 г. он говорил мне, что Эйнштейн далеко не удовлетворен и что он со свойственной ему проницательностью подметил новые аспекты ситуации, укрепляющие его критическую позицию. Действительно, Эйнштейн, исследуя возможности применения взвешивания

вающей установки, придумал другую процедуру, которая обостряла парадоксы настолько, что их логическое разрешение на первый взгляд не представлялось возможным (процедуру эту Эйнштейн придумал, впрочем, имея в виду другие применения, оказавшиеся невыполнимыми). Так, Эйнштейн указал на то, что после предварительного взвешивания ящика с часами и последующего вылета фотона всегда еще останется выбор: или повторить процесс взвешивания, или же открыть ящик и сравнить показания часов с лабораторной шкалой времени. Таким образом, на этой стадии опыта мы еще можем выбрать, хотим ли мы сделать заключение об энергии фотона или же о моменте времени, когда фотон покинул ящик. Не оказывая какого-либо влияния на фотон между его вылетом из ящика и его последующим взаимодействием с надлежащими измерительными приборами, мы можем сделать точные предсказания *или* о моменте его прибытия, *или же* о количестве энергии, освобожденной благодаря его поглощению. Но так как, согласно квантовой механике, задание состояния изолированной частицы не может содержать одновременно вполне определенное соответствие со шкалой времени и точное фиксирование энергии, то может показаться, что аппарат квантовой механики не дает средств для надлежащего описания действительности.

И на этот раз пронизательный ум Эйнштейна выявил особый аспект того положения вещей, с каким мы встречаемся в квантовой теории, — аспект, ярко показывающий, насколько далеко мы отошли от привычных объяснений явлений природы. Тем не менее я не мог согласиться с тенденцией его замечаний, как они мне были переданы Эренфестом. По моему мнению, если мы имеем логически непротиворечивый математический аппарат физической теории, то единственный способ доказать его несостоятельность заключается в том, чтобы показать, что его следствия расходятся с опытом или что его предсказания не исчерпывают того, что может наблюдаться на опыте. Аргументация же Эйнштейна не приводит ни к тому, ни к другому. В самом деле, мы должны уяснить себе, что в рассматриваемой задаче мы имеем дело не с *одной* определенной экспериментальной установкой, но фактически с *двумя* взаимно исключающими друг друга установками.

В одной из них весы вместе с другими приборами, например спектрометром, служат для изучения переноса энергии фотоном; во второй установке затвор, регулированный по лабораторным часам, а также другие аналогичные приспособления, синхронизированные с этими часами, служат для того, чтобы измерять время, нужное фотону, чтобы пройти данный отрезок пути. В обоих случаях следует ожидать (как это принимал и Эйнштейн), что наблюдаемые эффекты будут вполне соответствовать предсказаниям теории.

Эта задача вновь подчеркивает необходимость рассматривать *всю* экспериментальную установку, точная спецификация которой существенна для возможности однозначного применения аппарата квантовой механики. Попутно можно к этому добавить, что парадоксы такого же рода, как рассмотренные Эйнштейном, возникают и в таких простых установках, как показанная на рис. 5. Ведь после предварительного измерения количества движения экрана нам еще предоставлен в принципе выбор, хотим ли мы после прохода электрона или фотона сквозь щель повторить измерение количества движения или же мы хотим определить положение экрана. В зависимости от того, что мы выберем, мы сможем делать предсказания относительно тех или иных последующих наблюдений. Заметим здесь еще, что для эффектов, которые можно наблюдать при помощи некоторой определенной экспериментальной установки, очевидно, будет безразлично, установлены ли планы построения приборов или манипулирования с ними заранее или же мы предпочитаем отложить окончательное составление этих планов до более позднего момента, когда частица уже будет на пути от одного прибора к другому.

В квантово-механическом описании наша свобода конструировать экспериментальную установку и манипулировать с нею находит свое надлежащее выражение в возможности выбирать классические параметры, вводимые в рассмотрение при всяком последовательном применении формального аппарата. Действительно, в этом отношении квантовая механика обнаруживает соответствие с положением вещей в классической физике, причем это соответствие настолько полно, насколько

этого можно ожидать, если иметь в виду неделимость квантовых явлений. Выдвинутые Эйнштейном возражения и сомнения сыграли особенно полезную роль в выяснении именно этого обстоятельства, и тем самым они и на этот раз послужили желанным толчком к исследованию самого существа дела.

Следующий Сольвейский конгресс (1933 г.) был посвящен проблемам строения и свойств атомных ядер. В этой области как раз в то время были достигнуты большие успехи как благодаря экспериментальным открытиям, так и благодаря новым плодотворным применениям квантовой механики. В связи с этим едва ли нужно напоминать, что новые данные, полученные благодаря изучению искусственного превращения ядер, дали самое прямое подтверждение фундаментальному закону Эйнштейна об эквивалентности массы и энергии; этому закону суждено было оказаться все более и более важным руководящим началом в ядерных исследованиях. Упомянем здесь также, что интуитивная догадка Эйнштейна о тесной зависимости между законом радиоактивных превращений и вероятностными правилами, которым подчинены индивидуальные излучательные эффекты (см. выше, стр. 55), была подтверждена квантовомеханическим объяснением спонтанного распада ядра. Действительно, мы имеем здесь типичный пример статистического способа описания, и дополнительное отношение между сохранением энергии и количества движения, с одной стороны, и локализацией во времени и в пространстве — с другой, резко выступает наружу в известном парадоксе о проникновении частицы сквозь потенциальные барьеры.

Сам Эйнштейн не присутствовал на этом конгрессе, который происходил в эпоху, омраченную трагическим развитием событий в политическом мире; этим событиям суждено было так сильно повлиять и на личную судьбу Эйнштейна и сделать ношу, взятую им на себя на службе человечеству, еще тяжелее. За несколько месяцев перед тем я все же встретил Эйнштейна; это было при моем посещении Принстона, где он тогда был гостем в только что основанном Институте усовершенствования (Institute for Advanced Study), постоянным

членом которого он вскоре стал. При этом посещение я имел случай еще раз поговорить с ним о вопросах атомной физики, примыкающих к теории познания, но различия в нашем подходе и в нашем способе выражения мыслей все еще препятствовали взаимному пониманию. До сих пор в описанных здесь дискуссиях принимали участие сравнительно немногие; но вскоре критическая позиция Эйнштейна (к которой присоединился ряд других физиков), занятая им по отношению к воззрениям, принятым в квантовой механике, стала известна более широким кругам благодаря статье [11], опубликованной в 1935 г. Эйнштейном, Подольским и Розеном под заглавием «Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным?» («Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?»).

Аргументация этой работы зиждется на критерии, который авторы формулируют следующим образом: «Если мы можем, без какого бы то ни было возмущения системы, предсказать с достоверностью (т. е. с вероятностью, равной единице) значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине». Авторы применяют даваемое аппаратом квантовой механики представление состояния системы к тому случаю, когда система состоит из двух частей, взаимодействовавших в течение короткого промежутка времени. Путем изящного анализа следствий, вытекающих из такого предположения, авторы показывают следующее. Существуют такие величины, что их значения не могут быть одновременно фиксированы в представлении одной из подсистем, но тем не менее могут быть предсказаны после измерения над другой подсистемой. На основании своего критерия авторы приходят тогда к заключению, что «квантовая механика не дает полного описания физической реальности», и выражают свое убеждение в том, что должно быть возможным более соответствующее действительности описание явлений. Благодаря своей ясности и, казалось бы, безупречной аргументации работа Эйнштейна, Подольского и Розена вызвала волнение среди физиков и сыграла большую роль в дискуссии об общеподлинных вопросах физики. Несомненно, спор идет об очень тонких вопросах, и он

очень подходит для того, чтобы обратить внимание, насколько в квантовой механике мы стоим далеко за пределами применимости наглядных картин. Однако можно убедиться, что мы имеем здесь дело с проблемами точно такого же рода, какие выдвигал Эйнштейн на прежних дискуссиях. В статье, опубликованной несколько месяцев спустя [12], я попытался показать, что с точки зрения дополненности кажущиеся противоречия совершенно устраняются. Ход рассуждений был в основном тот же, как и на предыдущих страницах; но стремление напомнить тогдашние споры пусть послужит извинением тому, что я приведу здесь некоторые отрывки из моей статьи.

После изложения выводов, к которым пришли Эйнштейн, Подольский и Розен на основании своего критерия, я писал:

«Однако такого рода аргументация едва ли годится для того, чтобы подорвать надежность квантово-механического описания, основанного на стройной математической теории, которая автоматически охватывает все случаи измерения, подобные указанному. Кажущееся противоречие на самом деле вскрывает только существенную непригодность обычной точки зрения натуральной философии для описания физических явлений того типа, с которым мы имеем дело в квантовой механике. В самом деле, конечность взаимодействия между объектом и измерительным прибором, обусловленная самим существованием кванта действия, влечет за собой — вследствие невозможности контролировать обратное действие объекта на измерительный прибор (а эта невозможность будет непременно иметь место, если только прибор удовлетворяет своему назначению) — необходимость окончательного отказа от классического идеала причинности и радикальный пересмотр наших взглядов на проблему физической реальности. Как мы увидим ниже, всякий критерий реальности, подобный предложенному упомянутыми авторами, будет — какой бы осторожной ни казалась его формулировка — содержать существенную неоднозначность, если мы станем его применять к действительным проблемам, которые нас здесь интересуют».

По отношению к частной проблеме, рассмотренной Эйнштейном, Подольским и Розеном, я показал затем, что, применяя аппарат квантовой механики к представ-

лению состояния системы из двух взаимодействующих друг с другом атомных объектов, мы приходим к выводам, которые вполне соответствуют тем простым аргументам, какие были приведены выше в связи с дискуссией об экспериментальных установках, пригодных для изучения дополнительных явлений. Известно, что всякая пара q и p канонически сопряженных переменных (координат и импульсов) подчинена правилу некоммутативного умножения, выраженному формулой (2), так что переменные этой пары могут быть фиксированы лишь со взаимной неопределенностью, даваемой формулой (3). Тем не менее разность $q_1 - q_2$ между пространственными координатами двух составных частей системы будет коммутировать с суммой $p_1 + p_2$ соответствующих компонент количества движения; это прямо следует из коммутативности q_1 с p_2 и q_2 с p_1 . Поэтому в сложной системе можно точно фиксировать как $q_1 - q_2$, так и $p_1 + p_2$, и, следовательно, для такого состояния системы можно предсказывать значения q_1 или p_1 , если q_2 или соответственно p_2 определены прямыми измерениями. Беря в качестве обеих частей системы частицу и диафрагму (как на рис. 5), видно, что возможности определения состояния частицы при помощи измерений над диафрагмой в точности соответствуют ситуации, описанной на стр. 71 и рассмотренной дальше, на стр. 82. Там было указано, что после прохождения частицы сквозь диафрагму у нас остается, в принципе, свободный выбор: мы можем измерять положение диафрагмы или же ее количество движения, и в каждом из этих случаев мы можем делать соответствующие предсказания о последующих наблюдениях над частицей. Как мы уже неоднократно подчеркивали, самое важное здесь то, что такие измерения требуют взаимно исключаящих экспериментальных установок.

Рассуждения нашей статьи резюмированы в следующем ее отрывке:

«С нашей точки зрения, мы видим теперь, что формулировка вышеупомянутого критерия физической реальности, предложенного Эйнштейном, Подольским и Розеном, содержит двусмысленность в выражении „без какого бы то ни было возмущения системы“. Разумеется, в случае, подобном только что рассмотренному, нет речи о том, чтобы в течение последнего критического

этапа процесса измерения изучаемая система подвергалась какому-либо механическому возмущению. Но и на этом этапе речь идет по существу о возмущении *в смысле влияния на самые условия, определяющие возможные типы предсказаний будущего поведения системы*. Так как эти условия составляют существенный элемент описания всякого явления, к которому можно применять термин „физическая реальность“, то мы видим, что аргументация упомянутых авторов не оправдывает их заключения о том, что квантово-механическое описание существенно неполно. Напротив того, как вытекает из наших предыдущих рассуждений, описание может быть охарактеризовано как разумное использование всех возможностей однозначного толкования измерений, совместимого с характерным для квантовых явлений копенбургским и не поддающимся учету взаимодействием между объектом и измерительными приборами. В самом деле, только взаимное исключение всяких двух экспериментальных манипуляций, которые позволили бы дать однозначное определение двух взаимно дополнительных физических величин, — только это взаимное исключение и освобождает место для новых физических законов, совместное существование которых могло бы, на первый взгляд, показаться противоречащим основным принципам построения науки. Именно эту совершенно новую ситуацию в отношении описания физических явлений мы и пытались характеризовать термином *дополнительность*».

Перечитывая теперь эти строки, я глубоко сознаю неудовлетворительность и неуклюжесть выражения моих мыслей и чувствую, что эти недостатки изложения должны были сильно затруднить понимание хода моих рассуждений. Моя аргументация имела целью выявить неоднозначность, присущую всякой попытке приписать определенные физические атрибуты объектам в тех случаях, когда имеем дело с явлениями, не допускающими резкого разграничения между поведением объектов самих по себе и их взаимодействием с измерительными приборами. Я надеюсь, однако, что настоящее изложение имевших место в прошлом дискуссий с Эйнштейном, столь сильно способствовавших нашему ознакомлению с положением вещей в атомной физике, сможет дать более ясное представление о том, насколько необходим,

в целях восстановления логического порядка в этой области знаний, радикальный пересмотр основных принципов объяснения физических явлений.

Тогдашние воззрения самого Эйнштейна изложены им в статье «Физика и реальность», появившейся в 1936 г. в журнале Франклиновского института [13]. Эйнштейн начинает с чрезвычайно ясного изложения постепенного развития фундаментальных принципов в теориях классической физики и их отношения к проблеме физической реальности. Эйнштейн стоит здесь на той точке зрения, что аппарат квантовой механики должен рассматриваться лишь как средство для описания среднего поведения большого числа атомных систем. Свое отношение к убеждению, согласно которому этот аппарат дает возможность исчерпывающего описания элементарных (индивидуальных) явлений, Эйнштейн выражает в следующих словах: «Такое убеждение, без сомнения, логически возможно и не приводит к противоречиям; однако оно так противно моему научному чутью, что я не могу отказаться от поисков более совершенной системы понятий».

Но, даже если не считать такую точку зрения экстравагантной, нужно все же помнить, что она означает отрицание всей изложенной выше аргументации, целью которой было показать, что в квантовой механике мы имеем дело не с произвольным отказом от детального анализа атомных явлений, но с признанием того, что такой анализ *принципиально* исключается. Свойственная квантовым эффектам неделимость ставит нас в отношении понимания результатов опыта, проведенного в точно определенных условиях, перед новой ситуацией, не предусмотренной классической физикой и не совместимой с обычными представлениями, приспособленными для того, чтобы разбираться в опытах обычного типа. Именно в этом отношении пришлось пересмотреть в результате развития квантовой теории основания для применения простейших понятий, и этот пересмотр составил дальнейший шаг в том развитии теории, которое началось с создания теории относительности и которое так характерно для современной науки.

В последующие годы теми сторонами ситуации в атомной физике, которые примыкают к философским вопросам, начали интересоваться все более широкие

круги; философские вопросы дискутировались, в частности, на Втором международном конгрессе единства науки в июле 1936 г. в Копенгагене. В докладе [14], сделанном мною по этому поводу, я пытался прежде всего подчеркнуть аналогию в теоретико-познавательном отношении между ограничениями, налагаемыми на причинный способ описания в атомной физике, и тем положением, с которым мы встречаемся в других областях. Одной из главных целей таких сравнений было привлечь внимание к тому, что во многих областях знания, представляющих общий интерес, возникают те же по существу проблемы, как и в квантовой механике; тем самым я стремился связать с более привычными понятиями тот на первый взгляд странный способ выражения, какой физики вынуждены были разработать, чтобы справиться со своими трудностями.

Наряду с психологией, где ярко проявляются свойства дополнительности, о чем я уже говорил (стр. 76), примеры таких соотношений можно найти и в биологии, в частности при сравнении между механистическим и виталистическим воззрениями. Последний вопрос и его связь с проблемой наблюдения были несколько лет тому назад предметом речи, произнесенной мною на Втором международном конгрессе по светотерапии в 1932 г. в Копенгагене [15]. В этой речи, между прочим, было указано, что даже психофизический параллелизм в форме, данной Лейбницем и Спинозой, раздвинул свои рамки благодаря развитию атомной физики, которая вынуждает нас в проблеме явлений занять позицию, напоминающую мудрый завет древних: в поисках гармонии в жизни никогда не забывать, что в драме бытия мы являемся одновременно и актерами и зрителями.

Высказывания такого рода могли, конечно, вызвать у многих впечатление некоего мистицизма, чуждого духу науки; поэтому я попытался в 1936 г. на упомянутом выше съезде устранить такого рода недоразумения и разъяснить, что речь идет единственно о том, чтобы попытаться выяснить для каждой области знаний условия для анализа и синтеза данных, получаемых из опыта. И все-таки я боюсь, что в этом отношении мне не слишком повезло и едва ли удалось убедить моих слушателей: ведь для них тот факт, что расхождение во мнениях наблюдается даже среди физиков, уже сам по

себе естественно заставляет сомневаться в необходимости столь далеко идущего отказа от привычных требований, предъявляемых к объяснению явлений природы. И, в частности, во время дискуссии с Эйнштейном, возобновившейся в Принстоне в 1937 г. (которая, впрочем, свелась к полужутливому спору о том, чью сторону принял бы Спиноза, если бы он переживал вместе с нами современное развитие физики), я особенно почувствовал необходимость крайней осторожности во всех вопросах терминологии и диалектики.

Эти аспекты положения дел подробно обсуждались на съезде, организованном в 1938 г. в Варшаве Международным институтом интеллектуального сотрудничества при Лиге Наций [16]. Предыдущие годы принесли большие успехи в области квантовой физики благодаря ряду фундаментальных открытий, относящихся к строению и свойствам атомных ядер, а также благодаря значительному развитию математического формального аппарата в направлении учета требований теории относительности. В этом отношении гениальная квантовая теория электрона, созданная Дираком, дала поразительный пример силы и плодотворности общего квантово-механического способа описания. В самом деле, в явлениях рождения и аннигиляции электронно-позитронных пар мы имеем дело с новыми фундаментальными чертами атомной природы материи, которые тесно связаны с неклассическими сторонами квантовой статистики, нашедшими свое выражение в принципе Паули; эти новые черты потребовали еще большего отказа от объяснения явлений на основе наглядных модельных представлений.

Тем временем дискуссия о проблемах теории познания в атомной физике привлекала к себе внимание больше, чем когда-либо, и при комментировании взглядов Эйнштейна относительно неполноты квантово-механического способа описания мне пришлось более подробно и непосредственно затронуть вопросы терминологии. При этом я особенно предостерегал против часто встречающихся в физической литературе оборотов вроде: «возмущение явлений наблюдением» или «придание атомным объектам физических атрибутов при помощи измерения». Такие выражения, правда, могли бы служить напоминанием о кажущихся парадоксах квантовой теории, но в то же время они способны создать путаницу,

потому что слова «явления» и «наблюдения» так же, как слова «атрибуты» и «измерения», употребляются здесь в таком смысле, который едва ли совместим с разговорным языком и с практическим их определением.

В качестве более целесообразного способа выражения я советовал употреблять слово «явление» исключительно в связи с наблюдениями, произведенными в точно определенных условиях, включающих указания о всем опыте в целом. При такой терминологии проблема наблюдения освобождается от всякой неоднозначности, потому что ведь в действительных экспериментах все наблюдения выражаются в виде совершенно однозначных утверждений того же типа, как, например, регистрация точки попадания электрона на фотографическую пластинку. Кроме того, такой способ выражения особенно хорошо подчеркивает то обстоятельство, что правильное физическое толкование символического аппарата квантовой механики может дать только предсказания однозначного или статистического характера, относящиеся к неделимым явлениям, возникающим в классически определяемых физических условиях.

Несмотря на все различия между физическими проблемами, породившими теорию относительности и теорию квантов, если сравнивать релятивистский и дополнительный способы описания в их чисто логическом аспекте, то бросается в глаза замечательное сходство в отношении отказа от придания абсолютного смысла обычным физическим атрибутам объектов. Также и пренебрежение атомной структурой самих измерительных приборов при описании реальных опытов одинаково характерно для теории относительности и для теории квантов. Малость кванта действия по сравнению с действиями, с которыми мы имеем дело в обычных опытах, включая установку и обслуживание физических приборов, столь же важна в атомной физике, как чудовищное число атомов, составляющих вселенную, важно для общей теории относительности, требующей, как известно, чтобы размеры угломерных приборов были малы по сравнению с радиусом кривизны пространства.

В моем варшавском докладе я следующим образом комментировал употребление в теории относительности и теории квантов математического аппарата, лишенного непосредственной наглядности:

«Даже математические аппараты обеих теорий, дающие, каждый в соответствующих рамках, надлежащие средства для охвата всего мыслимого опыта, обнаруживают глубокое сходство. Поразительная простота обобщения классических физических теорий, получаемого в одном случае при помощи многомерной геометрии и в другом случае при помощи некоммутативной алгебры, по существу основана в обоих случаях на введении условного символа $\sqrt{-1}$. Абстрактный характер рассматриваемых формальных аппаратов одинаково типичен для теории относительности и для квантовой механики: в этом отношении это вопрос традиции, считать ли первую теорию завершением классической физики или же первым решительным шагом в глубоко идущем пересмотре системы наших понятий как средства для сопоставления наблюдений — шагом, к которому нас вынуждает современное развитие физики».

Конечно, верно то, что в атомной физике мы стоим перед рядом нерешенных фундаментальных проблем, в частности перед вопросом о зависимости между элементарной единицей электрического заряда и универсальным квантом действия. Однако эти проблемы связаны с рассмотренными здесь вопросами теории познания не теснее, чем законность релятивистского способа описания связана с еще не решенными задачами космологии. Как в теории относительности, так и в теории квантов мы имеем дело с новыми аспектами научного анализа и синтеза; в связи с этим стоит отметить, что даже во времена великой эпохи критической философии прошлого столетия дело шло только о том, в какой мере возможно априорное обоснование для координации нашего опыта в пространстве и во времени и для его причинной взаимосвязи, но никогда не возникал вопрос о рациональных обобщениях таких категорий человеческого мышления или о присущих им ограничениях.

Хотя за последние годы я несколько раз имел случай встретиться с Эйнштейном, но дальнейшие разговоры (которые всегда давали мне новую зарядку) до сих пор еще не привели нас к общей точке зрения на проблемы теории познания в атомной физике. Наши противоположные взгляды, может быть, наиболее четко выражены в одном из последних выпусков журнала «Диалектика» [17], содержащем общую дискуссию по этим проблемам. Но

так как я отдаю себе отчет во многих препятствиях, стоящих на пути взаимопонимания по вопросу, в котором позиция каждого сильно зависит от подхода и от других условий, то я приветствовал настоящий повод для подробного обзора того развития, которое, как мне кажется, привело к преодолению серьезного кризиса в физической науке. Урок, который мы из этого извлекли, решительно продвинул нас по пути никогда не кончающейся борьбы за гармонию между содержанием и формой; урок этот показал нам еще раз, что никакое содержание нельзя уловить без привлечения соответствующей формы и что всякая форма, как бы ни была она полезна в прошлом, может оказаться слишком узкой для того, чтобы охватить новые результаты.

В таком положении как описанное, когда оказалось, что взаимопонимания трудно достигнуть не только между философами и физиками, но даже и между физиками различных школ, корень затруднений, несомненно, может иногда лежать в предпочтении определенной терминологии, соответствующей тому или иному подходу. В Копенгагенском институте, куда в те годы съезжался для дискуссий целый ряд молодых физиков из разных стран, мы имели обыкновение в трудных случаях утешаться шутками, среди которых особенно любимой была старая поговорка о двух родах истины. К одному роду истин относятся такие простые и ясные утверждения, что противоположные им, очевидно, неверны. Другой род, так называемые «глубокие истины», представляют, наоборот, такие утверждения, что противоположные им тоже содержат глубокую истину. Развитие в новой области обычно идет этапами, причем хаос постепенно превращается в порядок: но, пожалуй, как раз на промежуточном этапе, где преобладают «глубокие истины», работа особенно полна напряженного интереса и побуждает фантазию к поискам твердой опоры. В этом стремлении к равновесию между серьезным и веселым мы имеем в личности Эйнштейна блестящий образец; и, выражая свое убеждение в том, что благодаря особенно плодотворному сотрудничеству целого поколения физиков мы приближаемся к той цели, где логический порядок позволит нам в большей мере избегать «глубоких истин», я надеюсь, что это убеждение будет воспринято в эйнштейновском духе и в то же время послужит

извинением за отдельные высказанные на предыдущих страницах критические суждения.

Споры с Эйнштейном, составляющие предмет этой статьи, растянулись на много лет, в течение которых были достигнуты большие успехи в области атомной физики. Все наши личные встречи, долгие или короткие, неизменно производили на меня глубокое и длительное впечатление; и пока я писал этот очерк, я как бы спорил с Эйнштейном все время, даже и тогда, когда я разбирал вопросы, казалось бы, далекие от тех именно проблем, которые обсуждались при наших встречах. Что касается передачи разговоров, то здесь я, конечно, полагаюсь только на свою память; я должен также считаться с возможностью того, что многие черты развития теории квантов, в котором Эйнштейн сыграл такую большую роль, ему самому представляются в другом свете. Но я твердо надеюсь, что мне удалось дать ясное представление о том, как много для меня значила возможность личного контакта с Эйнштейном, вдохновляющее влияние которого чувствовалось всеми, кто с ним встречался.

ЛИТЕРАТУРА

1. Einstein A., *Ann. Phys.*, **17**, 132 (1905).
2. Bohr N., *Fys. Tides.*, **12**, 97 (1914); «Theory of Spectra and Atomic Constitution», Cambridge, University Press, 1922.
3. Einstein A., *Phys. Zs.*, **18**, 121 (1917).
4. Einstein A., Ehrenfest P., *Z. f. Phys.*, **11**, 31 (1922).
5. Bohr N., Kramers H. A., Slater J. C., *Phil. Mag.*, **47**, 785 (1924).
6. Einstein A., *Berl. Ber.*, p. 261 (1924); pp. 3, 18 (1925).
7. Heisenberg W., *Zs. f. Phys.*, **43**, 172 (1927).
8. *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici*, Como, Settembre 1927; *Nature*, **121**, pp. 78, 580 (1928).
9. *Institut International de Physique Solvay, Rapport et discussions du 5^e Conseil*, Paris, 1928, p. 253.
10. *Ibid.*, p. 248.
11. Einstein A., Podolsky B., Rosen N., *Phys. Rev.*, **47**, 777 (1935).
12. Bohr N., *Phys. Rev.*, **48**, 696 (1935).
13. Einstein A., *J. Franklin Inst.*, **221**, 349 (1936).
14. Bohr N., *Erkenntnis*, **6**, 293 (1937); *Phil. of Sci.*, **4**, 289 (1937).
15. 11^e Congrès international de la Lumière, Copenhague, 1932; *Nature*, **131**, 421, 457 (1933). [См. статью «Свет и жизнь» в настоящем сборнике.]
16. *New Theories in Physics*, Paris, 1938, p. 11.
17. Bohr N., *Dialectica*, **1**, 312 (1948).

ЕДИНСТВО ЗНАНИЙ

1954

Прежде чем пытаться ответить на вопрос, в какой мере допустимо говорить об единстве знаний, мы позволим себе спросить, что значит самое слово «знание». Я не собираюсь вступать в академические философские рассуждения, для которых у меня едва ли имеется достаточно специальной философской эрудиции. Однако каждый естествоиспытатель постоянно сталкивается с проблемой объективного описания опыта; под этим мы подразумеваем однозначный отчет или словесное сообщение. Нашим основным орудием является, конечно, обычный язык, который удовлетворяет нуждам обыденной жизни и общественных отношений. Мы не будем заниматься здесь происхождением такого языка; нас интересуют его возможности в научных сообщениях и в особенности проблема сохранения объективности при описании опыта, вырастающего за пределы событий повседневной жизни.

Главное, что нужно себе ясно представить, это то, что всякое новое знание является нам в оболочке старых понятий, приспособленной для объяснения прежнего опыта, и что всякая такая оболочка может оказаться слишком узкой для того, чтобы включить в себя новый опыт. В самом деле, во многих областях знания научные исследования время от времени приводили к необходимости отбросить, или заново сформировать точки

зрения, которые ранее считались обязательными для всякого разумного объяснения в силу своей плодотворности и кажущейся неограниченной применимости. Хотя толчок к такого рода пересмотрам дают специальные исследования, каждый такой пересмотр содержит вывод общего характера, важный для проблемы единства знаний. Действительно, расширение системы понятий не только восстанавливает порядок внутри соответствующей области знаний, но еще и раскрывает аналогии в других областях. Наше положение в отношении анализа и синтеза опыта в разных, казалось бы даже не связанных, областях знания может оказаться сходным, а это открывает возможности для еще более охватывающего объективного описания.

Когда мы говорим о системе понятий, мы имеем в виду просто-напросто однозначное логическое отображение соотношения между опытными данными. Это понятие также и в свете исторического развития, в ходе которого перестали резко отличать логику от семантических исследований и даже от филологического синтаксиса. Математика, так решительно содействовавшая развитию логического мышления, играет особую роль; своими четко определенными абстракциями она оказывает неоценимую помощь при выражении стройных логических зависимостей. Тем не менее в нашем обсуждении мы не будем рассматривать чистую математику как отдельную отрасль знания; мы будем считать ее скорее усовершенствованием общего языка, оснащающим его удобными средствами для отображения таких зависимостей, для которых обычное словесное выражение оказалось бы неточным или слишком сложным. В связи с этим можно подчеркнуть, что необходимая для объективного описания однозначность определений достигается при употреблении математических символов именно благодаря тому, что таким способом избегаются ссылки на сознательный субъект, которыми пронизан повседневный язык.

Развитию так называемых точных наук, характеризующих установлением численных соотношений между результатами измерений, сильно способствовали абстрактные математические методы, возникшие на почве независимой разработки обобщающих логических построений. Это положение особенно хорошо поясняется в физике; первоначально под физикой понимали вообще

все знания о той природе, частью которой мы сами являемся; но постепенно физика стала означать изучение элементарных законов, управляющих свойствами неживой материи. Необходимость всегда, даже в пределах этой сравнительно простой темы, обращать внимание на проблему объективного описания глубоко влияла на взгляды философских школ на протяжении многих веков. В наши дни исследование новых областей, открывшихся перед экспериментом, обнаружило, что для однозначного применения некоторых самых элементарных понятий требуются предпосылки, о которых раньше и не подозревали. Тем самым мы получили урок и по линии теории познания, причем урок этот касается и тех проблем, которые лежат далеко за пределами физики. Поэтому представляется целесообразным начать наше обсуждение с краткого обзора этого развития.

Нас завело бы слишком далеко, если бы мы стали вспоминать во всех подробностях, как была построена механика; как, с преодолением мифических космологических идей и аргументов, ссылающихся на цель наших собственных действий, возникла на основе, заложенной новаторскими работами Галилея, стройная система механики, достигшая такого совершенства благодаря мастерству и гению Ньютона. Прежде всего, принципы механики Ньютона внесли значительную ясность в проблему причины и следствия; это было достигнуто благодаря тому, что они позволяли, по состоянию физической системы в данный момент, определяемому через измеримые величины, предсказать ее состояние в любое последующее время. Хорошо известно, как такого рода детерминистическое или каузальное описание привело к механистическому пониманию природы; такой тип описания сделался идеалом научного объяснения во всех областях знания, вне зависимости от того, каким путем эти знания получены. Поэтому особенно важно отметить, что изучение более широкой области физического опыта выявило необходимость более пристального рассмотрения проблемы наблюдения.

В пределах своей обширной области применения классическая механика дает объективное описание, в том смысле, что оно основано на четко определенном упот-

реблении представлений и идей, приспособленных к событиям повседневной жизни. Однако какими бы разумными ни казались идеализации, которыми пользуется ньютонова механика, они фактически зашли далеко за пределы опыта, к которому приспособлены наши элементарные понятия. Так, адекватное употребление понятий абсолютных пространства и времени теснейшим образом связано с практически мгновенным распространением света, позволяющим нам локализовать тела вокруг нас независимо от их скорости и располагать события в единую временную последовательность. Однако попытка составить логически стройное описание оптических и электромагнитных явлений обнаружила, что наблюдатели, движущиеся относительно друг друга с большими скоростями, будут координировать события неодинаково. Такие наблюдатели будут судить различно о форме и о положении твердых тел, и, кроме того, события в разных точках пространства, которые одному наблюдателю кажутся одновременными, другому могут показаться происходящими в разное время.

Исследование того, в какой мере описание физических явлений зависит от точки зрения наблюдателя, не только не внесло никакой путаницы или усложнения, но, наоборот, оказалось неоценимой путеводной нитью при разыскании основных физических законов, общих для всех наблюдателей. Сохраняя идею детерминизма, но основываясь исключительно на зависимости между однозначными измерениями, которые сводятся в конечном счете к совпадению между событиями, Эйнштейн сумел перестроить и обобщить все здание классической физики и тем самым придать нашей картине мира единство, превосходящее все, что можно было ожидать. В общей теории относительности описание основано, с одной стороны, на криволинейной четырехмерной метрике пространства-времени, которая автоматически учитывает гравитационные эффекты, и, с другой стороны, на исключительной роли скорости световых сигналов, которая представляет верхний предел в любом непротиворечивом приложении физического понятия скорости. Введение таких хотя и непривычных, но четко определенных математических абстракций ни в коем случае не вносит какой-либо неоднозначности; напротив, это есть поучительный пример того, как расширение системы понятий

дает надлежащие средства для устранения субъективных элементов и для расширения объективного описания.

Новые, неожиданные стороны проблемы наблюдения были открыты в связи с исследованиями атомного строения материи. Как хорошо известно, идея о том, что делимость вещества не беспредельна, восходит к древности; ее ввели, чтобы согласовать постоянство характерных свойств веществ с разнообразием явлений природы. Однако почти до наших дней такие взгляды считались по существу гипотетическими, в том смысле, что прямая проверка их наблюдением представлялась невозможной из-за грубости наших органов чувств и наших приборов, которые сами состоят из бесчисленных атомов. Но в связи с большим прогрессом в физике и химии, достигнутым за последние столетия, плодотворность атомных идей становилась все более несомненной. В частности, непосредственное применение классической механики к взаимодействию между атомами и молекулами, происходящему во время их непрерывного движения, привело к общему пониманию принципов термодинамики.

В текущем столетии изучение вновь открытых свойств материи, таких, как естественная радиоактивность, убедительно подтвердило основы атомной теории. В частности, благодаря развитию усилительных устройств стало возможным изучать явления, существенно зависящие от отдельных атомов, и даже удалось получить обширные сведения о структуре атомных систем. Первым шагом было признание того, что электрон является общей составной частью всех веществ; дальнейшим шагом, существенно дополнившим наши представления о строении атома, было открытие Резерфордом атомного ядра, где в чрезвычайно малом объеме сосредоточена почти вся масса атома. Неизменяемость свойств элементов при обычных физических и химических процессах непосредственно объясняется тем, что в таких процессах, хотя связи электронов и могут сильно меняться, ядро остается без изменений. Резерфордом была доказана также и взаимная превращаемость атомных ядер под действием более мощных сил. Тем самым Резерфорд открыл совершенно новую область исследований, которую часто называют современной алхимией. Как хорошо известно, эти исследования должны были в конечном счете

привести к возможности освобождать огромные количества энергии, запасенные в атомных ядрах.

Хотя ряд фундаментальных свойств материи и объяснялся на основе простой картины атома, но с самого начала было ясно, что классические идеи механики и электромагнетизма недостаточны для объяснения существенной устойчивости атомных структур, которая проявляется в том, что элементы имеют характерные для них свойства. Ключ к выяснению этой проблемы дало открытие Планком в первый год нашего столетия универсального кванта действия. К этому открытию Планка привел его пронизательный анализ законов теплового излучения. Открытие Планка выявило присущее атомным процессам свойство цельности, совершенно чуждое механистическому пониманию природы. Стало ясно, что классические физические теории — это идеализации, пригодные только для описания таких явлений, в анализе коих все величины размерности действия достаточно велики, чтобы можно было пренебречь квантом действия. Это условие выполняется с избытком в явлениях обычного масштаба, в атомных же явлениях мы встречаемся с закономерностями совсем нового вида, не поддающимися детерминистическому наглядному описанию.

Рациональное обобщение классической физики, которое учитывало бы существование кванта, но по-прежнему позволяло бы однозначное толкование опытных фактов, допускающих определение инертной массы и электрического заряда электрона и ядра, представляло очень трудную задачу. Соединенными усилиями целого поколения физиков-теоретиков было тем не менее постепенно создано стройное и — в широких пределах — исчерпывающее описание атомных явлений. Это описание использует математический аппарат, в который вместо переменных величин классических физических теорий входят символы, подчиненные некоммутативным правилам умножения, содержащим постоянную Планка. Благодаря самому характеру таких математических абстракций, этот формальный аппарат не допускает привычного наглядного толкования; он предназначен для того, чтобы установить зависимости между наблюдениями, полученными при четко определенных условиях. Зависимости эти имеют существенно статистический характер, в соответствии с тем, что в данной экспериментальной

установке могут иметь место различные индивидуальные квантовые процессы.

При помощи аппарата квантовой механики достигнута подробная систематизация огромного количества экспериментальных данных о физических и химических свойствах материи. Сверх того, приспособив формальный аппарат к требованиям теории относительности, оказалось возможным упорядочить в широких пределах быстро накапливающиеся новые сведения о свойствах элементарных частиц и о строении атомных ядер. Несмотря на поразительную плодотворность квантовой механики, радикальный отход от привычных физических способов описания, и в особенности отказ от самой идеи детерминизма, вызвал сомнения в умах многих физиков и философов. Возник вопрос, имеем ли мы здесь дело с временным выходом из положения или же новый метод объективного описания представляет окончательный шаг, уже необратимый. Разъяснение этой проблемы действительно потребовало радикального пересмотра самых основ описания и толкования физического опыта.

В связи с этим мы должны прежде всего признать, что, даже если явления выходят за пределы применимости классической физики, все же характеристика экспериментальной установки и запись произведенных наблюдений должны даваться на обычном языке, надлежащим образом дополненном специальной физической терминологией. Это есть ясное и логическое требование, поскольку самое слово «эксперимент» относится к такой ситуации, когда мы можем сказать другим, что мы делали и что узнали. Фундаментальное отличие анализа явлений в классической и в квантовой физике состоит, однако, в том, что в первом случае взаимодействием между объектами и измерительными приборами можно пренебречь (или же его можно компенсировать), тогда как во втором случае это взаимодействие составляет существенную часть явления. Присущая собственно квантовому явлению цельность находит свое логическое выражение в том обстоятельстве, что всякая попытка четко подразделить явление потребовала бы изменения в экспериментальной установке, несовместимого с возникновением самого явления.

В частности, невозможность отдельного контроля над взаимодействием между атомными объектами и прибо-

рами, необходимыми для фиксирования условий опыта, не допускает неограниченного сочетания локализации в пространстве-времени с применением динамических законов сохранения — сочетания, на котором основано детерминистическое описание классической физики. В самом деле, всякое однозначное применение понятий пространства и времени предполагает такую экспериментальную установку, в которой происходит принципиально не поддающийся контролю перенос количества движения и энергии к неподвижным шкалам и синхронизованным часам, нужным для определения системы отсчета. И наоборот, отчет о явлениях, которые характеризуются законами сохранения количества движения и энергии, предполагает принципиальный отказ от детальной локализации в пространстве и времени. Эти обстоятельства находят количественное выражение в соотношениях неопределенности Гейзенберга, которые устанавливают связь между допусками в значениях кинематических и динамических переменных, фиксирующих состояние физической системы. По самому характеру формального аппарата квантовой механики такие соотношения не могут быть, однако, истолкованы как «модельные» свойства объектов, т. е. свойства, опирающиеся на классические наглядные представления. Мы имеем здесь дело со взаимно исключающими друг друга условиями однозначного применения самых понятий пространства и времени, с одной стороны, и динамических законов сохранения — с другой.

В связи с этим иногда говорят: «Наблюдение нарушает ход явления» или «Физические свойства атомных объектов создаются их измерением». Однако такие высказывания способны лишь внести путаницу, так как слова «явления» и «наблюдения», равно как и слова «свойства» и «измерения», употребляются здесь в смысле, несовместном с обычным языком и с практическим их определением. Действительно, с позиций объективного описания лучше употреблять слово «явление», только если речь идет о наблюдениях, полученных при определенных условиях, т. е. таких, в описание которых входят данные обо всей экспериментальной установке. При такой терминологии проблема наблюдения в квантовой физике освобождается от всякой запутанности. Кроме того, эта терминология напоминает нам о том,

что всякое атомное явление целю и законченно. Это значит, что наблюдение такого явления основано на регистрации его при помощи усилительных устройств, действующих необратимо; таковы, например, наблюдения, в которых используются исчезающие пятна на фотопластинке, вызванные проникновением электронов в эмульсию. Здесь важно уяснить себе, что формальный аппарат квантовой механики допускает однозначное применение только к такого рода завершенным явлениям. И в этом отношении он является рациональным обобщением классической физики, в которой не только завершенное явление, но и каждый этап хода событий описывается измеримыми величинами.

Свобода экспериментирования, сама собой разумеющаяся в классической физике, конечно, сохраняется и в квантовой физике; она соответствует здесь свободному выбору экспериментальной установки, что предусмотрено и математической структурой применяемого в квантовой физике формального аппарата. То обстоятельство, что в общем случае одна и та же экспериментальная установка может дать разные отсчеты, иногда картинно описывают как «выбор природы» между такими возможностями. Само собой разумеется, что такая фраза не содержит намека на одухотворение природы, а просто указывает на невозможность обеспечить (как это считалось возможным раньше) желаемое направление законченного неделимого процесса. Здесь логический подход не может пойти дальше вывода относительных вероятностей для появления того или иного индивидуального явления при данных экспериментальных условиях. В этом отношении квантовая механика представляет собой последовательное обобщение детерминистического механического описания; последнее содержится в ней как асимптотический предел для случая, когда масштаб физических явлений достаточно велик, чтобы можно было пренебречь квантом действия.

Чрезвычайно характерную черту атомной физики представляет новое соотношение между явлениями, наблюдаемыми при разных экспериментальных условиях, для описания которых приходится применять разные элементарные понятия. В самом деле, какими бы противоречивыми ни казались, при попытке изобразить ход атомных процессов в классическом духе, получаемые при

таких условиях опытные данные, их надо рассматривать как дополнительные, в том смысле, что они представляют одинаково существенные сведения об атомных системах и, взятые вместе, исчерпывают эти сведения. Понятие дополнительности ни в коем случае не предполагает отказа от нашего положения независимых наблюдателей природы; это понятие нужно рассматривать как логическое выражение нашей ситуации по отношению к объективному описанию в этой области опытного знания. Взаимодействие между измерительными приборами и исследуемыми физическими системами составляет неотъемлемую часть квантовых явлений. Признание этого факта не только обнаружило не подозревавшуюся раньше ограниченность механистического понимания природы (в котором физическим системам приписываются самостоятельные свойства), но и заставило нас, при упорядочении опыта, обращать должное внимание на условия наблюдения.

Возвращаясь к неоднократно обсуждавшемуся вопросу о том, чего следует требовать от физического объяснения явлений, нужно иметь в виду следующее. Уже классическая механика обходится без понятия причины при рассмотрении равномерного движения; далее, теория относительности научила нас тому, что соображения инвариантности и эквивалентности могут рассматриваться как категории рационального объяснения. Подобно этому, в дополнительном описании квантовой физики мы имеем дело с дальнейшим самосогласованным обобщением. Это обобщение допускает включение закономерностей, которые играют решающую роль в описании фундаментальных свойств материи, но выходят за пределы детерминистического описания. Таким образом, история физической науки наглядно показывает, как исследование все более широких областей опытного знания, с одной стороны, обнаруживает неожиданные ограничения для привычных идей, но тем самым указывает, с другой стороны, новые пути для восстановления логического порядка. Как мы теперь покажем, гносеологический урок, содержащийся в ходе развития атомной физики, напоминает нам о подобных же ситуациях, возникающих при описании и толковании опытных данных в других областях, лежащих далеко за пределами физической науки. Этот урок позволяет нам подметить

в разных областях общие черты и тем самым содействовать стремлению к единству знания.

Когда мы покидаем область собственно физики, мы прежде всего наталкиваемся на вопрос о месте живых организмов в описании природы. Раньше не проводили резкого разграничения между живой и неживой материей. Известно, что Аристотель, противопоставляя свою точку зрения идеям атомистов, подчеркивал цельность индивидуальных живых организмов; даже в рассуждениях об основах механики он сохранял такие идеи, как назначение и потенция. Однако в результате великих открытий эпохи Ренессанса в области анатомии и физиологии, и в особенности благодаря появлению классической механики, использующей детерминистическое описание, из которого исключена всякая ссылка на цель, естественно возникло такое представление о природе, которое является полностью механистическим. Большое число органических процессов смогло быть и в самом деле истолковано на основе тех физико-химических свойств материи, объяснение которых опирается на простые атомистические идеи. Правда, структура и отправления живых организмов предполагают упорядоченность атомных процессов, которую, казалось, трудно согласовать с законами термодинамики; последние требуют ведь, чтобы состояние атомов, составляющих изолированную физическую систему, постепенно приближалось к беспорядочному. Однако если надлежащим образом учесть то обстоятельство, что необходимая для сохранения и развития живых организмов свободная энергия непрерывно пополняется из окружающей среды дыханием и питанием организма, то станет ясно, что здесь нет и речи о каком-либо нарушении общих физических законов.

В последние десятилетия наши знания о строении и отправлениях живых организмов значительнополнились; в частности, стало очевидным, что квантовые закономерности играют здесь во многих отношениях фундаментальную роль. Такие закономерности являются основой замечательной устойчивости чрезвычайно сложных молекулярных структур, образующих существенные составные части тех клеток, которые ответственны за наследственные свойства вида. Далее, исследования мутаций, возникающих после облучения живого организма проникающей радиацией, дают яркие примеры прило-

жения статистических законов квантовой физики. Наконец, оказалось, что чувствительность воспринимающих органов, столь важная для сохранности живого организма, приближается к уровню отдельных квантовых процессов, причем усилительные механизмы играют важную роль в особенности в передаче нервных сигналов. В результате всех этих открытий снова выдвинулся на первый план механистический подход к проблемам биологии, понимаемый, впрочем, в новом смысле. Но в то же время стал очень острым вопрос о том, допустимо ли сравнение живых организмов со сложными и усовершенствованными механическими системами, вроде современных промышленных агрегатов или электронных счетных машин, и может ли такое сравнение служить подходящей основой для объективного описания саморегулирующихся образований, каковыми являются живые организмы.

Возвращаясь к общему гносеологическому уроку, преподанному нам атомной физикой, мы прежде всего должны ясно себе представить, что изучаемые в квантовой физике замкнутые процессы не представляют прямой аналогии с биологическими отправлениями, для поддержания которых нужен непрерывный обмен материей и энергией между живым организмом и окружающей средой. Кроме того, всякая экспериментальная установка, которая позволила бы контролировать такие отправления с той же степенью точности, какая требуется для четкого их описания на языке физики, будет препятствовать свободному течению жизни. Но именно это обстоятельство и наводит на мысль о таком понимании органической жизни, которое было бы в состоянии сбалансировать механистический подход с телеологическим. В самом деле, в описании атомных явлений в качестве первичного элемента, для которого объяснение невозможно и ненужно, выступает квант действия, и совершенно так же в биологической науке первичным элементом является понятие жизни; в существовании и эволюции живых организмов мы имеем дело скорее с проявлением возможностей той природы, к которой мы принадлежим, а не с результатами опытов, которые мы сами можем произвести. Мы должны признать, что требования объективного описания выполняются (или должны выполняться) в силу той характерной дополнительности, которая существует между прак-

тически применяемыми в биологии соображениями физико-химического характера и понятиями, прямо связанными с целостностью организма и выходящими за рамки физики и химии. Главное здесь в том, что, только отказавшись от объяснения жизни (объяснения в обычном смысле), мы приобретаем возможность учитывать ее особенности.

Конечно, в биологии, как и в физике, мы сохраняем наше положение независимых наблюдателей, и вопрос только в различии условий для логического согласования опыта. Это приложимо также и к изучению врожденного и обусловленного поведения животных и человека, где естественно напрашивается применение психологических понятий. Применения этих понятий едва ли можно избежать даже при таком подходе, когда за основу берется поведение живого объекта. Когда же мы имеем дело с поведением столь сложным, что его описание требует привлечения понятия самоанализа со стороны индивидуального живого организма, то появляется понятие сознательности. Мы имеем здесь дело со взаимно исключаящими друг друга применениями слов «инстинкт» и «разум»; это иллюстрируется тем, до какой степени инстинктивное поведение сдерживается и подавляется в человеческих обществах. Когда мы пытаемся описать свое собственное душевное состояние, мы встречаемся с еще большими трудностями в смысле самонаблюдения. Тем не менее даже в психологии человека оказывается возможным в большой мере удовлетворить требованиям объективного описания. В этой связи интересно отметить, что в физической науке на ранних ее стадиях можно было опираться на такие стороны событий повседневной жизни, которые допускают простое причинное объяснение, тогда как при описании нашего душевного состояния использовалось с самого возникновения языков такое описание, которое по существу является дополнительным. Богатая терминология, приспособленная для таких повествований, направлена не на то, чтобы проследить за непрерывным ходом событий, а скорее на то, чтобы указывать на взаимно исключающие переживания. Эти переживания характеризуются тем, что по-разному проводится граница между содержанием того, что мы узнали и на чем сосредоточено наше внимание, и тем фоном, который обозначается словами «мы сами».

Особенно ярким примером является взаимоотношение между теми ситуациями, в которых мы обдумываем мотивы наших действий, и теми, когда мы испытываем чувство решимости. В нормальной жизни такой переход от одного состояния к другому (сдвиг упомянутой выше границы) более или менее осознается интуитивно. Но психиатрам хорошо известны и симптомы, характеризующиеся как «раздвоение личности», которое может привести к ее распаду. Тот факт, что для описания различных, одинаково важных сторон человеческой души приходится применять различные, как бы исключающие друг друга характеристики, и в самом деле представляет замечательную аналогию с положением в атомной физике, где определение дополнительных явлений требует применения совсем разных элементарных понятий. Прежде всего самое слово «сознательный» относится к опыту, который может удержаться в памяти; это обстоятельство подсказывает нам сравнение между сознательным опытом и физическими наблюдениями. В этой аналогии невозможность придать недвусмысленное содержание идее подсознания соответствует невозможности наглядного (модельного) толкования квантово-механического аппарата. Между прочим, можно сказать, что психоаналитическое лечение неврозов восстанавливает равновесие в содержании памяти пациента тем, что приносит ему новый сознательный опыт, а не тем, что помогает ему измерить бездны его подсознания.

С биологической точки зрения мы можем толковать признаки психических явлений, только считая, что всякий сознательный опыт соответствует остаточному следу в организме, сводящемуся к остающейся в нервной системе необратимой записи исхода процесса; самые же процессы не поддаются самоанализу, но их едва ли можно исчерпывающе определить и с механистической точки зрения. Такие записи, в которых принимает участие взаимодействие многих нервных клеток, конечно, существенно отличаются от неизменяемых структур в каждой из тех клеток организма, которые связаны с генетическим воспроизведением. Рассуждая с телеологической точки зрения, мы могли бы подчеркнуть не только полезность остаточных следов, сказывающуюся в их влиянии на наши реакции на последующие раздражители, но и важность того, что позднейшие поколения

уже не обременены частными переживаниями отдельных индивидуумов; для этих поколений существенно только воспроизведение тех свойств организмов, которые оказались полезными для накопления и использования знаний. При всякой попытке продвинуть исследование дальше мы, конечно, должны быть готовы встретить все возрастающие на каждом шагу трудности такого исследования. Надо думать, что простые понятия физической науки уже перестанут быть непосредственно приложимыми, и это в тем большей степени, чем ближе мы подойдем к тем чертам живых организмов, которые родственны свойствам нашего душевного мира.

Чтобы иллюстрировать это рассуждение, можно вкратце напомнить старую проблему свободы воли. Из того, что было сказано, уже ясно, что слово «воля» (или решимость, *volition*) необходимо для исчерпывающего описания психических явлений, а проблема состоит собственно в том, в какой мере можем мы говорить о свободе поступать согласно нашим возможностям. Если принять ничем не ограниченную детерминистическую точку зрения, то идея такой свободы, конечно, исключается. Но общий урок, извлекаемый из атомной физики и в особенности из факта ограниченности механистического описания биологических явлений, наводит на мысль, что в способности живых организмов приспособляться к окружающей среде заключена возможность выбирать наиболее подходящий для этого путь. Так как о подобных вопросах на чисто физической основе судить нельзя, то чрезвычайно важно уяснить себе, что более подходящую информацию об этих проблемах может дать наш психологический опыт. Решающим пунктом является здесь следующее: если мы будем пытаться предсказать, как решит поступить другой человек при данных обстоятельствах, то мы не только должны стараться узнать всю его подоплеку (включая историю его жизни со всех тех сторон, которые могли повлиять на формирование его характера), но, кроме этого, мы должны уяснить себе, что то, к чему мы здесь в конечном счете стремимся, — это поставить себя на его место. Конечно, невозможно сказать, хочет ли человек сделать что-то, потому что он считает, что он это может, или же он может, потому что хочет; однако едва ли можно сомневаться в том, что у нас есть ощущение, так

сказать, способности использовать обстоятельства наилучшим образом. С точки зрения объективного описания здесь ничего нельзя ни прибавить, ни убавить, и в этом смысле как практически, так и логически мы вправе говорить о свободе воли, причем, однако, мы должны оставлять достаточно простора для употребления таких слов, как «ответственность» и «надежда», — слов, которые в отдельности так же мало поддаются определению, как и другие слова, необходимые для человеческого общения.

Такие рассуждения раскрывают гносеологические выводы, в отношении нашего положения как наблюдателей, из урока, преподанного нам развитием физических наук. Нам пришлось отказаться от привычных требований, предъявлявшихся к объяснению, но взамен этого нам предоставлены логические средства для охвата и понимания более широких областей нашего опыта, причем оказалось необходимым обращать должное внимание на положение линии раздела объект — субъект. Поскольку в философской литературе иногда ссылаются на разные степени (уровни) объективности или субъективности или даже реальности, нелишне подчеркнуть, что в объективном описании — таком, как мы его определили, — представление о первичном субъекте, так же как и понятия, подобные реализму и идеализму, не находят себе места; однако это обстоятельство отнюдь не означает какого-либо ограничения для нашего исследования и для области, к которой оно относится.

После того как я рассмотрел некоторые научные проблемы, имеющие отношение к единству знаний, я хочу обратиться к следующему вопросу, поставленному в нашей программе, а именно к вопросу о том, существует ли поэтическая, или духовная, или культурная истина, отличная от истины научной. При всей свойственной мне как естествоиспытателю неохоте входить в эти области, я попытаюсь, однако, прокомментировать этот вопрос с той же точки зрения, какой я придерживался в предыдущих своих рассуждениях. Возвращаясь к нашей мысли о зависимости между нашими средствами выражения и областью интересующего нас опыта, мы не можем миновать вопроса о взаимоотношении между

наукой и искусством. Причина, почему искусство может нас обогатить, заключается в его способности напоминать нам о гармониях, недостижимых для систематического анализа. Можно сказать, что литературное, изобразительное и музыкальное искусства образуют последовательность способов выражения, и в этой последовательности все более полный отказ от точных определений, характерных для научных сообщений, предоставляет больше свободы игре фантазии. В частности, в поэзии эта цель достигается сопоставлением слов, связанных с меняющимся восприятием наблюдателя, и этим эмоционально объединяются многообразные стороны человеческого познания.

Всякое произведение искусства требует вдохновения. Не будет, однако, непочтительным заметить, что даже на вершине своего творчества художник полагается на общечеловеческий фундамент, на котором строим и мы. В частности, мы должны осознать, что самое слово «импровизация», так легкомысленно слетающее с языка, когда говорят о художественном исполнении, указывает на неотъемлемое свойство всякого сообщения. В обычном разговоре мы более или менее бессознательно выбираем словесные выражения, передавая то, о чем мы думаем; даже в написанных бумагах, где мы имеем возможность пересмотреть каждое слово, вопрос о том, оставить его или заменить, требует для ответа какого-то окончательного решения, по существу эквивалентного импровизации. Между прочим, равновесие между серьезностью и шуткой, типичное для всякого истинно художественного исполнения, напоминает нам о дополнительных аспектах, бросающихся в глаза в детской игре и не менее ценимых взрослыми. В самом деле, если мы будем стараться всегда говорить совершенно серьезно, мы рискуем очень скоро показаться нашим слушателям и себе самим смехотворно скучными; а если мы попробуем все время шутить, мы скоро обнаружим (да и наши слушатели тоже), что находимся в унылом настроении шутов в драмах Шекспира.

При сравнении между науками и искусствами, конечно, нельзя забывать, что в науках мы имеем дело с систематическими согласованными усилиями, направленными к накоплению опыта и разработке представлений, пригодных для его толкования; это похоже на

переноску и подгонку камней для постройки. В то же время искусство представляет собой более интуитивные попытки отдельного лица вызвать чувства, напоминающие о некоторой душевной ситуации в целом. Здесь мы подходим к той точке, где вопрос о единстве знаний, как и самое слово «истина», становится неоднозначным. Действительно, в отношении к духовным и культурным ценностям мы тоже не должны забывать о проблемах теории познания, которые связаны здесь с правильным балансом между нашим стремлением к всеобъемлющему взгляду на жизнь во всем ее многообразии и нашими возможностями выражать свои мысли логически связным образом.

Наука и религия занимают в этом вопросе существенно разные исходные позиции. Наука стремится к развитию общих методов упорядочения общечеловеческого опыта, а религии возникают из стремления споспешествовать гармонии взглядов и поведения внутри сообщества людей. Во всякой религии знания, которыми обладали члены общества, вкладывались, конечно, в некоторую уже готовую схему или структуру; первичное же содержание этой структуры составляли ценности и идеалы, положенные в основу культа и веры. Поэтому внутренняя связь между содержанием и формой мало привлекала к себе внимание до тех пор, пока последующее развитие науки не принесло новых принципиальных выводов космологического или гносеологического характера. Ход истории дает много таких примеров; мы можем сослаться, в частности, на настоящий раскол между наукой и религией, сопровождавший развитие механистического понимания природы во времена европейского Возрождения. С одной стороны, многие явления, на которые до тех пор смотрели как на проявление божественного провидения, оказались следствиями незыблемых общих законов природы. С другой стороны, физические методы и взгляды были очень далеки от того, чтобы делать упор на человеческие ценности и идеалы, важные для религии. Поэтому общим для школ так называемой эмпирической и критической философии было стремление провести какое-то (хотя и довольно неопределенное) различие между объективным значением и субъективной верой.

Благодаря признанию того, что в имеющем определенный смысл словесном сообщении необходимо обращать внимание на место, где проводится линия раздела объект — субъект, современное развитие науки создало новую основу для употребления таких слов, как «знание» и «вера». Прежде всего признание ограничений, присущих понятию причинности, выдвинуло систему понятий, в которой идея мирового предопределения заменена понятием естественной эволюции. Что касается организации человеческих обществ, то мы хотели бы особенно подчеркнуть, что в описании положения отдельного лица внутри общества имеются типично дополнительные стороны, связанные с подвижной границей между оценкой человеческих ценностей и общими положениями, на основании которых о них судят. Конечно, всякое устойчивое человеческое общество нуждается в честной игре, установленной мудрыми правилами; и в то же время жизнь без привязанности к семье и друзьям была бы, очевидно, лишена одной из своих самых драгоценных и привлекательных сторон. Общую цель всех культур составляет самое теснейшее сочетание справедливости и милосердия, какого только можно достигнуть; тем не менее следует признать, что в каждом случае, где нужно строго применить закон, не остается места для проявления милосердия, и наоборот, доброжелательство и сострадание могут вступить в конфликт с самыми принципами правосудия. Во многих религиях этот конфликт иллюстрируется мифами о битвах между богами, олицетворяющими такие идеалы, а в древневосточной философии это подчеркивается следующим мудрым советом: добиваясь гармонии человеческой жизни, никогда не забывай, что на сцене бытия мы сами являемся как актерами, так и зрителями.

При сравнении различных культур, опирающихся на традиции, воспитанные историческими событиями, мы встречаем затруднение, которое состоит в том, что трудно оценить культуру одного народа на фоне традиций другого. В этом отношении связь между национальными культурами иногда характеризовалась как дополнительная; но это слово нельзя здесь употреблять в его строгом смысле, в каком его употребляют в атомной физике или в психологическом анализе, где мы имеем дело с неизменяемыми чертами нашего положения.

С одной стороны, контакт между народами часто приводил к слиянию культур при сохранении ценных элементов национальных традиций; с другой стороны, и антропологические исследования постепенно становятся важным источником, освещающим общие для всех культур черты развития. Нам представляется несомненным, что проблеме единства знаний нельзя отделять от стремления к всеобщему взаимопониманию как средству поднятия человеческой культуры.

В заключение этого доклада мне следовало бы просить извинения в том, что, говоря на такие общие темы, я так много ссылался на одну специальную область знаний, а именно на физические науки. Но мне хотелось указать на одну точку зрения, подсказанную нам в наши дни тем серьезным уроком, который был преподан нам в этой области; мне кажется, что эта точка зрения имеет важное значение для проблемы единства знаний. Эту установку можно резюмировать как стремление достигнуть гармоничного понимания все более широких аспектов того положения, в котором мы находимся. Мы должны признать, что ни один опытный факт не может быть сформулирован помимо некоторой системы понятий и что всякая кажущаяся дисгармония между опытными фактами может быть устранена только путем надлежащего расширения этой системы понятий.

АТОМЫ И человеческое познание

1955

Если говорить о прогрессе познания и подчинения природы, частью которой являемся мы сами, то в истории науки едва ли что-либо может сравниться с исследованиями мира атомов в нашем веке. Однако со всяким ростом знаний и умений связана и бóльшая ответственность; осуществление же богатых обещаний атомного века и устранение несомых им новых опасностей бросает всей нашей цивилизации серьезный вызов, на который можно ответить только сотрудничеством всех народов, основанным на общем понимании необходимости сотрудничества людей. При таком положении вещей важно ясно себе представить, что наука не знает национальных границ и что ее достижения являются общим достоянием человечества; поэтому она во все времена объединяла людей в их усилиях разъяснить основы наших знаний. Как я постараюсь показать, изучение атома, приведшее к столь знаменательным последствиям и обязанное своими успехами мировому сотрудничеству, не только углубило наше проникновение в новую область опытных знаний, но и пролило новый свет на общие проблемы познания.

Сначала может показаться странным, что атомная наука содержит поучение общего характера; но мы должны помнить, что на всех этапах своего развития наука об атомах всегда затрагивала глубокие проблемы

познания. Так, мыслители древности, вводя представление об ограниченной делимости вещества, пытались тем самым найти основу для понимания того постоянства, которое обнаруживают природные явления при всем их разнообразии и изменчивости. Атомистические идеи все более и более плодотворно содействовали развитию физики и химии начиная с эпохи Возрождения, но на них всегда, вплоть до начала этого столетия, смотрели как на гипотезу. Считалось очевидным и не требующим доказательства, что наши органы чувств, которые сами состоят из бесчисленных атомов, слишком грубы, чтобы наблюдать мельчайшие частицы материи. Это положение должно было, однако, существенно измениться благодаря крупным открытиям на пороге нашего столетия. Как хорошо известно, развитие техники эксперимента дало возможность регистрировать эффекты от отдельных атомов и получать информацию о более элементарных частицах, из которых, как было найдено, состоят сами атомы.

Признавая глубокое влияние, которое оказывал древний атомизм на развитие механистического понимания природы, нужно все же сказать, что только изучение непосредственно доступных астрономических и физических опытных фактов дало возможность выявить закономерности так называемой классической физики. Завет Галилея, согласно которому отчет о явлении следует основывать на измеримых величинах, позволил избавиться от тех анимистических взглядов, которые так долго мешали разумно формулировать механику. В принципах Ньютона были заложены основы для детерминистического описания, позволяющего по состоянию физической системы на данный момент времени предсказывать ее состояние для любого последующего времени. На этих же основаниях можно было объяснить и электромагнитные явления. Для этого требовалось, однако, чтобы в описание состояния системы входили, кроме положений и скоростей заряженных и намагниченных тел, величина и направление электрических и магнитных сил в каждой точке пространства в данный момент.

Долгое время думали, что система понятий, характерная для классической физики, дает нам надлежащее орудие для описания всех физических явлений, и ее считали пригодной для развития и использования атомистических идей. Конечно, для систем, состоящих, подобно

обыкновенным телам, из огромного числа составных частей, не могло быть и речи об исчерпывающем описании состояния системы. Тем не менее оказалось возможным, не отказываясь от детерминистического идеала, вывести на основе принципов классической механики статистические закономерности, отражающие многие из свойств материальных тел. Несмотря на то, что законы движения механики допускают полное обращение хода каждого отдельного процесса, было получено исчерпывающее объяснение характерного свойства необратимости тепловых явлений; объяснение это заключается в статистическом равновесии энергии, наступающем в результате взаимодействия между молекулами. Это крупное расширение области применения механики еще сильнее подчеркнуло необходимость атомистических идей для описания природы и впервые дало возможность подсчитать число атомов в веществе.

Однако с выяснением основ, на которые опираются законы термодинамики, открылся и путь к установлению свойства цельности атомных процессов, — свойства, далеко выходящего за пределы старого учения об ограниченной делимости материи. Хорошо известно, что детальный анализ теплового излучения оказался проверкой применимости классических физических идей. Открытие электромагнитных волн уже дало основу для понимания распространения света и объяснило многие из оптических свойств веществ; но при попытках применить эти идеи к лучистому равновесию возникли непреодолимые трудности. Существенно то, что рассуждения здесь были основаны на общих принципах и не зависели от специальных предположений относительно состава веществ. Это обстоятельство и привело Планка к открытию в первом году этого столетия универсального кванта действия. Открытие Планка ясно показало, что классическое физическое описание является идеализацией и имеет ограниченную применимость. В явлениях обычного масштаба величины размерности действия так велики по сравнению с квантом, что его можно не включать в рассмотрение. Однако в собственно квантовых процессах мы встречаем закономерности, совершенно чуждые механистическому пониманию природы и не поддающиеся наглядному детерминистическому описанию.

Задача, поставленная перед физиками открытием Планка, была огромна. Требовалось при помощи тщательного анализа предположений, на которых основано применение наших самых элементарных понятий, расчистить место для кванта действия в рациональном обобщении классического физического описания. В течение всего времени развития квантовой физики, принесшей так много неожиданного, нам не раз пришлось вспомнить о трудности ориентироваться в области опытных фактов, не похожих на те, для описания которых приспособлены наши способы выражения. Широкое и интенсивное сотрудничество физиков многих стран способствовало быстрым успехам; разнообразие их подхода к данной проблеме оказалось очень плодотворным и помогло сфокусировать ее более резко. Здесь, конечно, невозможно было бы остановиться более подробно на том, что внес каждый из физиков; но в качестве фона для дальнейших рассуждений я напому вам вкратце некоторые из главных особенностей этого развития.

В то время как Планк осторожно ограничился статистическими аргументами и подчеркивал затруднительность отказа от классических принципов детального описания природы, Эйнштейн смело указал на необходимость принимать во внимание квант действия в индивидуальных атомных явлениях. В тот же год, когда он так гармонично построил здание классической физики, установив теорию относительности, он сделал еще одно открытие. Эйнштейн показал, что для описания наблюдений над фотоэлектрическим эффектом необходимо предположить, что передача энергии к каждому вырванному из вещества электрону соответствует поглощению так называемого кванта излучения. Так как идея о волнах необходима для объяснения распространения света, то не могло быть и речи о том, чтобы просто заменить ее корпускулярными представлениями. Поэтому ученые здесь встретились со своеобразной дилеммой, для разрешения которой требовался тщательный анализ области применимости наглядных представлений.

Как известно, этот вопрос еще больше обострился благодаря открытию Резерфордом атомного ядра. В ядре, несмотря на его малость, заключена почти вся масса атома, а его электрический заряд соответствует числу электронов в нейтральном атоме. Это дало простую

картину атома, которая сразу же навела на мысль о применении идей механики и электромагнитной теории. Все же было ясно, что, согласно принципам классической физики, никакая конфигурация электрически заряженных частиц не может обладать устойчивостью, необходимой для объяснения физических и химических свойств атома. В частности, по классической электромагнитной теории всякое движение электронов вокруг атомного ядра должно сопровождаться непрерывным излучением энергии; в результате система станет быстро сжиматься до тех пор, пока электроны не соединятся с ядром, образуя нейтральную частицу исчезающе малых размеров по сравнению с теми, которые следует приписывать атомам. Однако указание на решающее значение кванта действия для устойчивости атомов и их реакции излучения было найдено в эмпирических законах линейчатых спектров элементов, — законах, до тех пор совершенно непонятных.

Исходной точкой стал здесь так называемый квантовый постулат, по которому каждое изменение энергии атома есть результат полного перехода между двумя его стационарными состояниями. Предполагая далее, что всякий атомный акт излучения связан с испусканием или поглощением единичного светового кванта, можно было определить из спектров значения энергии стационарных состояний. Было очевидно, что в рамках детерминистического описания нельзя дать никакого объяснения неделимости процессов перехода и самому их возникновению при данных условиях. Оказалось, однако, возможным, опираясь на так называемый принцип соответствия, получить систематизацию связей электронов в атомах, отражающую многие из свойств веществ. Основываясь на сравнении с ходом процессов, ожидаемым по классической теории, искали указаний для такого статистического обобщения описания, которое было бы совместно с квантовым постулатом. Становилось, однако, все более и более ясным, что для того, чтобы получить непротиворечивый отчет об атомных явлениях, необходимо в еще большей мере отказаться от наглядных представлений и что нужна радикальная переформулировка всего описания, чтобы освободить место для всех тех особенностей явлений, которые связаны с квантом действия.

Решение, достигнутое в результате изобретательных и остроумных догадок многих из самых выдающихся физиков-теоретиков нашего времени, было удивительно просто. Как и при формулировании теории относительности, так и здесь соответствующий аппарат был найден в форме чрезвычайно развитых математических абстракций. Величины, которые в классической физике служат для описания состояния системы, заменяются в квантово-механическом формальном аппарате символическими операторами, коммутативность которых ограничена правилами, содержащими квант действия. Это значит, что таким величинам, как пространственные координаты и соответствующие составляющие количества движения частиц, нельзя одновременно приписывать определенные значения. Таким образом, статистический характер формального аппарата выступает как естественное обобщение описания классической физики. Кроме того, это обобщение сделало возможным логически последовательное формулирование закономерностей, ограничивающих индивидуальность тождественных частиц; закономерности эти, как и самый квант, не могут быть выражены на языке обычных физических наглядных представлений.

При помощи методов квантовой механики удалось объяснить большое количество опытных фактов, относящихся к физическим и химическим свойствам веществ. Не только были объяснены во всех деталях связи электронов в атомах и молекулах, но и удалось также глубоко проникнуть в строение и реакции атомных ядер. В связи с этим мы можем упомянуть о том, что вероятностные законы для спонтанных радиоактивных превращений были гармонично включены в статистическое квантово-механическое описание. При изучении превращений атомных ядер при высоких энергиях наблюдаются за последние годы новые элементарные частицы; понимание свойств этих частиц продвинулось далеко вперед в результате приспособления формального аппарата к требованиям инвариантности, вытекающим из теории относительности. Все же здесь перед нами встают новые проблемы; решение их, очевидно, требует дальнейших абстракций, которые позволили бы сочетать квант действия с элементарным электрическим зарядом.

Несмотря на всю плодотворность квантовой механики, охватившей такую обширную область опытных

фактов, отказ от привычных требований, предъявлявшихся к физическому описанию, заставил многих физиков и философов сомневаться в том, что мы имеем здесь дело с исчерпывающим описанием атомных явлений. В частности, высказывалось мнение, что статистический способ описания должен рассматриваться как временный выход из положения, но что в принципе он может быть заменен детерминистическим описанием. Тщательное обсуждение этого вопроса привело, однако, лишь к разъяснению нашего положения в атомной физике как наблюдателей; это и дало нам тот гносеологический урок, о котором упоминалось в начале доклада.

Поскольку задачей науки является увеличение и упорядочение нашего опыта, всякий анализ возможностей и предпосылок человеческого познания должен опираться на рассмотрение характера и полноты наших способов общения. Основой, конечно, является язык, выработанный для ориентировки в окружающем и для организации человеческого общества. Однако в результате расширения нашего опыта не раз возникали вопросы о том, достаточно ли тех понятий и идей, которые воплотились в нашем обыденном языке. Благодаря сравнительной простоте физических проблем они особенно подходят для исследования того, как употребляются наши способы общения. В самом деле, развитие атомной физики научило нас тому, как, не отступая от обычного языка, можно создать систему понятий, достаточно общую для исчерпывающего описания новых опытных фактов.

В связи с этим настоятельно необходимо уяснить себе, что во всяком отчете о физическом опыте нужно описывать как условия опыта, так и результаты наблюдения теми же словами и средствами, какие употребляются в классической физике. При анализе отдельных атомных частиц это становится возможным благодаря необратимым усилительным эффектам — таким, как пятно на фотографической пластинке, остающееся после удара о нее электрона, или как электрический разряд, созданный им в счетчике. Тогда наблюдения касаются только того, когда и где была зарегистрирована частица на пластинке или ее энергия при попадании ее

в счетчик. Конечно, эта информация предполагает, что положение фотопластинки относительно других частей экспериментальной установки известно; такими частями могут быть направляющие диафрагмы и затворы, которые служат для локализации в пространстве и времени, или же заряженные и намагниченные тела, которые определяют действующие на частицу внешние силовые поля и позволяют делать измерения энергии. Экспериментальные условия можно менять многими способами, но главное здесь в том, что в каждом случае мы должны быть в состоянии передать другим, что мы сделали и что мы узнали; поэтому-то действие измерительных приборов непременно должно описываться в рамках классических физических понятий.

Так как все измерения касаются, таким образом, тел, достаточно тяжелых, чтобы при их описании можно было пренебречь квантом действия, то, строго говоря, в атомной физике нет никакой новой проблемы наблюдения. Возможность строить отчет на измеримых величинах основана на усилении атомных эффектов, которое придает явлениям своеобразный замкнутый характер и вместе с тем подчеркивает необратимость, характерную для самого понятия наблюдения. В рамках классической физики нет принципиальной разницы между описанием измерительных приборов и описанием объектов исследования. Но когда мы изучаем квантовые явления, положение будет совсем иное, поскольку квант действия налагает ограничения на описание состояния системы при помощи пространственно-временных координат и энергетических величин (количества движения и энергии). Так как детерминистическое описание классической физики основано на предположении о неограниченной совместности локализации в пространстве и времени и применения динамических законов сохранения, то мы, очевидно, наталкиваемся здесь на вопрос, можно ли полностью сохранить такое описание в случае атомных объектов.

Для выяснения этого главного пункта роль взаимодействия между объектами и измерительными приборами в описании квантовых явлений оказалась особенно важной. Как подчеркивал Гейзенберг, локализация объекта в ограниченной области пространства-времени влечет за собой, согласно квантовой механике, обмен

количеством движения и энергией между прибором и объектом; этот обмен тем больше, чем меньше выбранная область. Поэтому было крайне важно исследовать, насколько при описании явления можно учитывать в отдельности и взаимодействие, возникающее при наблюдении. Этот вопрос был центральным во многих дискуссиях, причем появилось много предложений, имевших целью полное контролирование взаимодействий. Однако в таких рассуждениях не обращали должного внимания на тот факт, что самое описание действия измерительных приборов предполагает, что все обусловленные квантом взаимодействия между прибором и атомными объектами неотделимы от явления.

Действительно, каждая экспериментальная установка, позволяющая регистрировать атомную частицу в ограниченной области пространства-времени, требует применения закрепленных масштабов и синхронизированных часов. Поэтому по самому определению их исключается возможность контролировать передаваемые им количество движения и энергию. И наоборот, всякое однозначное приложение динамических законов сохранения в квантовой физике требует, чтобы описание явления сопровождалось принципиальным отказом от детальной локализации в пространстве-времени. Такое взаимное исключение экспериментальных условий означает, что в хорошо определенном описании явления нужно принимать во внимание полностью всю экспериментальную установку. Неделимость квантовых явлений находит свое логическое выражение в том обстоятельстве, что каждое поддающееся определению подразделение явления потребовало бы изменения экспериментальной установки, а это изменение сопровождалось бы появлением новых индивидуальных процессов. Таким образом, отпало самое основание для детерминистического описания. Статистический же характер предсказаний явствует из того, что в одной и той же экспериментальной установке будут, вообще говоря, регистрироваться результаты, соответствующие разным индивидуальным процессам.

Такие рассуждения не только разъяснили упомянутую выше дилемму относительно распространения света, но и окончательно разрешили соответствующие парадоксы, связанные с наглядным представлением поведения

материальных частиц. Здесь мы, конечно, не можем искать физического объяснения в привычном смысле; все, что мы можем требовать в этой новой области опытных фактов — это устранения всякого, даже кажущегося, противоречия. Как бы ни были велики контрасты, которые обнаруживают атомные явления при различных условиях опыта, такие явления следует называть дополнительными, в том смысле, что каждое из них хорошо определено, а взятые вместе они исчерпывают все подающиеся определению сведения об исследуемых объектах. Единственной целью формального аппарата квантовой механики является систематический охват наблюдений, полученных при таких условиях опыта, которые описываются простыми физическими понятиями; существующий аппарат как раз и дает такое исчерпывающее дополнительное описание для очень большой области опытных фактов. Отказ от наглядных представлений затрагивает только состояние атомных объектов; при этом полностью сохраняются основы описания экспериментальных условий, равно как и наша свобода их выбирать. Во всех этих отношениях формальный аппарат квантовой механики, применимый только к замкнутым явлениям, должен рассматриваться как рациональное обобщение классической физики.

Если помнить о том влиянии, которое оказывало механистическое понимание природы на философское мышление, то нетрудно понять, почему иногда в понятии дополнительности видели ссылку на субъективного наблюдателя, — ссылку, несовместимую с объективностью научного описания. В каждой области исследования мы должны, конечно, сохранять резкое разграничение между наблюдателем и содержанием наблюдений. Но мы должны ясно представлять себе, что открытие кванта действия пролило новый свет на самые основы описания природы; оно обнаружило, что для разумного использования понятий, на которых основаны сообщения об опытных фактах, необходимы предпосылки, до того не замеченные. В квантовой физике описание действия измерительных приборов является, как мы видели, необходимым условием для определения самого явления. Проводя в известном смысле различие между субъектом и объектом, мы должны делать это так, чтобы в каждом отдельном случае было обеспечено однозначное

применение элементарных физических понятий, которые употребляются в описании. Понятие дополнительности отнюдь не содержит какого-либо мистицизма, чуждого духу науки; наоборот, оно просто указывает на логические предпосылки для описания и толкования опытных фактов в атомной физике.

Подобно более ранним успехам физической науки, гносеологический урок, преподанный нам атомной физикой, естественно, заставляет нас заново пересмотреть и в других областях знаний применение наших способов общения для объективного описания. Упор, который делается на проблему наблюдения в атомной физике, не в меньшей степени подымает аналогичные вопросы в биологии и психологии, а именно вопросы о положении живых организмов в описании природы и о нашем собственном положении существ думающих и действующих. Хотя в рамках классической физики и можно было до некоторой степени сравнивать живые организмы с машинами, всегда было ясно, что такие сравнения недостаточно учитывают многие из характерных для жизни черт. Недостаточность механистического представления о природе для описания положения человека особенно хорошо обнаруживается на трудностях, связанных с примитивным различием между душой и телом.

Проблемы, встающие здесь перед нами, очевидно, связаны с тем фактом, что многие стороны человеческого существования требуют для своего описания терминологии, которая не опирается непосредственно на простые физические представления. То обстоятельство, однако, что такие представления имеют ограниченную применимость и для атомных явлений, дает указание на способы, посредством которых биологические и психологические явления также могут быть включены в рамки объективного описания. Как и раньше, здесь важно помнить о разделении между наблюдателем и содержанием сообщения. При механистическом понимании природы линия раздела субъект — объект фиксирована; признание того, что последовательное применение наших представлений требует иногда другого проведения этой границы, как раз и освобождает место для расширения описания.

Не пытаясь давать какое-либо исчерпывающее определение органической жизни, мы можем сказать, что живой организм характеризуется своей целостностью и своей приспособляемостью. Это значит, что описание внутренних отклонений живого организма и его реакций на внешние возбудители часто требует употребления слова «целесообразный», чуждого физике и химии. Хотя результаты атомной физики и нашли множество приложений в биофизике и биохимии, все же замкнутые индивидуальные квантовые явления, конечно, не обнаруживают никаких черт, напоминающих что-либо характерное для понятия жизни. Как мы видели, описание атомных явлений является исчерпывающим для широкой области опытных фактов, и оно основано на возможности свободного использования таких измерительных приборов, какие нужны для надлежащего применения элементарных понятий. Однако в живых организмах такого рода разграничение между измерительными приборами и исследуемыми объектами едва ли может быть проведено полностью. Мы должны быть готовы к тому, что каждая хорошо определенная в смысле атомной физики экспериментальная установка, целью которой является описание отклонений живого организма, окажется несовместной с проявлением жизни.

В биологических исследованиях делаются ссылки на свойства целостности живых организмов и на целесообразность их реакций и наравне с ними используется все более детальная информация о строении организмов и о регулирующих процессах в них, — информация, которая привела к таким большим успехам, в частности, в медицине. Мы имеем здесь дело с практическим подходом к области, в которой применяемые для описания разных ее сторон способы выражения подразумевают взаимно исключающие условия наблюдения. В связи с этим следует понять, что точки зрения, называемые механистической и телеологической, не противоречат друг другу, а скорее обнаруживают дополнительную зависимость, связанную с нашим положением наблюдателей природы. Во избежание недоразумений важно, однако, отметить, что — в противоположность отчету об атомных закономерностях — описание органической жизни и оценка возможностей ее развития не могут претендовать на полноту, а могут лишь стремиться

к построению достаточно широкой системы понятий.

При описании опытных фактов из области психологии мы встречаемся с такими условиями наблюдения и соответствующими им способами выражения, которые отстоят еще дальше от физической терминологии. Независимо от того, насколько в описании поведения животных нужны и оправданы такие слова, как «инстинкт» и «разум», слово «сознание» в применении к самому себе и к другим совершенно необходимо для описания ситуации в случае человека. Терминология, приспособленная для ориентирования в окружающем, еще могла исходить из простых физических представлений и из идеи причинности; отчет же о наших душевных состояниях требует типично дополнительного метода описания. В самом деле, употребление таких слов, как «мысль» или «чувство», относится не к какой-то твердо увязанной причинной цепи, а к видам душевного опыта, исключаящим друг друга благодаря неодинаковому разграничению между сознательным содержанием и тем фоном, который мы приблизительно обозначаем «мы сами».

Особенно поучительно отношение между тем душевным опытом, когда мы испытываем чувство решимости, и тем, когда мы сознательно размышляем о мотивах к действию. Ненужность прибегать при описании всего богатства сознательной жизни к таким, казалось бы, противоречивым способам выражения поразительно напоминает способ применения элементарных физических представлений в атомной физике. При такого рода сравнении мы должны, однако, признать, что психический опыт не может быть подчинен физическим измерениям и что самое понятие волевого акта не относится к обобщению детерминистического описания, но с самого начала указывает на характерные черты человеческой жизни. Не пускаясь в старый философский спор о свободе воли, я упомяну только о том, что в объективном описании нашей ситуации употребление слова «хотение» или «решимость» близко соответствует употреблению таких слов, как «надежда» или «ответственность»; все они одинаково необходимы для общения между людьми.

Мы здесь подошли к проблемам, затрагивающим человеческое сообщество. В этих проблемах разнообразие способов выражения проистекает от невозможности

охарактеризовать каким-нибудь фиксированным отличительным признаком роль личности в обществе. Тот факт, что человеческие культуры, развившиеся при разных условиях жизни, обнаруживают такие контрасты в отношении установившихся традиций и общественного строя, позволяет называть эти культуры в известном смысле дополнительными. Однако мы ни в коем случае не имеем здесь дело с определенными взаимно исключаящими друг друга чертами, подобными тем, которые мы встречали при объективном описании общих проблем физики и психологии; здесь — это различия во взглядах, которые могут быть оценены и улучшены расширенным общением между народами. В наше время, когда возрастающие познания и умение их применять связывают судьбы всех народов более чем когда-либо раньше, международное сотрудничество в науке получило далеко идущие задания, осуществлению которых немало может способствовать осознание общих закономерностей человеческого познания.

Физическая наука И проблема жизни

1957

Для меня было удовольствием принять предложение Копенгагенского медицинского общества прочесть одну из Стенсеновских¹ лекций, которыми общество чтит память знаменитого датского ученого; его достижениями восхищаются все в большей степени не только в нашей стране, но и во всем научном мире. Я избрал своей темой проблему, занимавшую человеческую мысль в течение многих веков; она глубоко интересовала и самого Нильса Стенсена. Эта проблема состоит в выяснении того, насколько физический опыт может помочь нам в объяснении органической жизни в ее богатых и разнообразных проявлениях. Из развития физики за последние десятилетия, в частности из исследований так долго скрытого от нас мира атомов, можно извлечь поучение, касающееся нашего положения наблюдателей той природы, частью которой мы являемся сами. Я попытаюсь показать, как это развитие и этот урок создали новые предпосылки для нашего отношения к этому вопросу.

Уже в философских школах древней Греции мы находим расхождение во мнениях относительно средств и понятий, пригодных для объяснения поразительных

¹ Нильс Стенсен (1638—1686) — латинизированная форма: Николай Стенон, Стено — датский естествоиспытатель (анатомия, геология, кристаллография). — *Прим. ред.*

отличий между живыми организмами и другими материальными телами. Хорошо известно, что атомисты считали ограниченную делимость всякой материи необходимой не только для объяснения простых физических явлений, но и для толкования отправления живых организмов и связанных с ними психических явлений. С другой стороны, Аристотель отвергал атомистические идеи и, имея в виду цельность, какую обнаруживает каждый живой организм, защищал необходимость вводить в описание природы такие понятия, как совершенство и целесообразность.

В течение почти 2000 лет положение оставалось по существу неизменным. Только в эпоху Возрождения были сделаны те великие открытия как в физике, так и в биологии, которые должны были дать новый побудительный толчок к дальнейшему их развитию. В физике прогресс состоял прежде всего в освобождении от аристотелевской идеи о движущих силах как о причине всякого движения. Галилей установил, что равномерное движение есть проявление инерции, и рассматривал силу как причину изменения движения. Оба эти утверждения должны были стать основой развития механики, которую Ньютон облек в незыблемую и законченную форму, к восхищению последующих поколений. В этой так называемой классической механике исключено всякое упоминание о цели, так как ход событий описывается как автоматическое следствие заданных начальных условий.

Прогресс механики не мог не оказать сильнейшего влияния на всю современную науку. В частности, анатомические исследования Везалиуса (Vesalius) и открытие Гарвеем (Harvey) кровообращения навели на мысль сравнивать живые организмы с машинами, работающими по законам механики. Из философов особенно Декарт подчеркивал сходство животных с автоматами, но вместе с тем он приписывал человеческим существам душу, взаимодействующую с телом в некоторой железе в мозгу. Однако в своем знаменитом Парижском докладе об анатомии мозга Стенсен подчеркнул недостаточность современного знания таких проблем; этот доклад свидетельствует о его большой наблюдательности и непредвзятости, характерных для всей его научной деятельности.

Дальнейшее развитие биологии, особенно после изобретения микроскопа, привело к открытию неожиданной тонкости строения живых организмов и их регулирующих процессов. Таким образом, механистические идеи нашли себе еще более широкое применение; но в то же время поразительная способность живых организмов к регенерации и приспособлению породила и так называемые виталистические и финалистические (телеологические) взгляды, которые не раз и высказывались. Такого рода взгляды уже не возвращали к примитивным идеям жизненной силы, действующей в живых организмах, а скорее делали упор на недостаточность физического подхода для объяснения характерных черт жизни. В качестве спокойного изложения ситуации, какой она была в начале этого столетия, я бы хотел сослаться на следующее высказывание моего отца, физиолога Христиана Бора, во введении к его статье, опубликованной в ежегодном издании Копенгагенского университета за 1910 г. под заглавием «О патологическом расширении легких»:

«Поскольку физиологию можно характеризовать как особую ветвь естественных наук, ее специальной задачей является изучение явлений, свойственных живому организму как данному эмпирическому объекту; цель этих исследований — добиться понимания роли различных частей организма в саморегуляции, понимании того, как эти части уравновешивают друг друга и достигают согласованности при изменении внешних воздействий и внутренних процессов. Соответственно самой природе этой задачи слово «цель» относят к сохранению живого организма, а целесообразным называют регулирующие механизмы, служащие к его сохранению. Именно в этом смысле мы в дальнейшем и будем употреблять понятие «целесообразность» в применении к органическим отправлениям. Для того чтобы употребление этого понятия в каждом отдельном случае не было бессодержательным или даже вводящим в заблуждение, нужно потребовать, чтобы ему всегда предшествовало достаточно тщательное исследование рассматриваемого явления органической жизни. Такое исследование должно шаг за шагом осветить тот путь, каким это явление способствует сохранению живого организма. Хотя это есть всего-навсего требование научного доказательства того, что в данном случае понятие целесообразности употреблено в соответствии с его определением, а это требование может показаться очевидным, тем не менее мы считаем нелишним его подчеркнуть. Действительно, физиологические исследования выявили такое великое множество крайне тонких приспособлений живого организма, что очень соблазнительно называть каждое наблюдаемое проявление жизни целесообразным, не затрудняя себя экспериментальным исследованием деталей его отправления. При помощи аналогии, которые так легко находят среди многообразных органических отпра-

вленный, легко сделать следующий шаг и истолковать такое отправление субъективным образом, приписав ему в данном случае то или иное специальное назначение. Очевидно, однако, что при нашем столь ограниченном знакомстве с живыми организмами такое субъективное суждение очень часто может быть ошибочным; это иллюстрируется множеством примеров. В таких случаях недостаточное экспериментальное освещение деталей процесса и является причиной ошибочных результатов подобного образа действия. Само по себе априорное предположение целенаправленности органического процесса, однако, вполне естественно в качестве эвристического принципа; благодаря крайней сложности условий в организме и трудности их учета и понимания этот принцип может оказаться не только полезным, но даже необходимым для постановки конкретной научной задачи и для поисков путей к ее решению. Но одно дело — это то, чем удобно и можно пользоваться в предварительном исследовании, и совсем другое дело то, что может законно рассматриваться как окончательный результат. Что касается проблемы целесообразности данного отправления для сохранения живого организма в целом, то, как подчеркнуто выше, такой результат может быть обеспечен только наглядным показом в подробностях тех путей, которыми достигается эта цель».

Я привел эти замечания, отражающие взгляды того круга, в котором я вырос и чьи дискуссии я слушал в молодости, потому что они представляют подходящую исходную точку для исследования места, занимаемого живыми организмами в описании природы. Как я попытаюсь показать, современное развитие атомной физики, увеличив наши знания об атомах и о том, как они составлены из более элементарных частиц, обнаружило вместе с тем принципиальную ограниченность так называемого механистического представления о природе. Этим оно создало новые предпосылки для решения вопроса, имеющего прямое отношение к нашему предмету, а именно: что мы можем понимать под научным объяснением и что мы можем от него требовать?

Для того чтобы представить положение в физике как можно яснее, я прежде всего напомним вам тот крайний взгляд, который был выражен в известной идее Лапласа о мировой машине и который возник под влиянием больших успехов классической механики. Согласно этой концепции, все взаимодействия между частями, составляющими эту машину, подчиняются законам механики; поэтому интеллект, знающий расположение и скорости этих частей, мог бы предсказать все последующие события во вселенной, включая поведение животных и

человека. Эта идея, как известно, играла большую роль в философских дискуссиях; однако во всей этой концепции не было обращено должного внимания на те предпосылки, которые нужны для того, чтобы были применимы такие понятия, без каких невозможно сообщение о физическом опыте.

В этом отношении дальнейшее развитие физики настоятельнейшим образом преподало нам урок. Уже чрезвычайно важное толкование тепловых явлений как непрерывного движения молекул в газах, жидкостях и твердых телах привлекло внимание к большому значению условий наблюдения для описания опытных фактов. Конечно, не могло быть и речи о подробном описании движения бесчисленных молекул среди себе подобных; можно было говорить лишь о выводе статистических закономерностей теплового движения путем использования общих механических принципов. Своеобразный контраст между обратимостью простых механических процессов и необратимостью, типичной для многих термодинамических явлений, был, таким образом, разъяснен тем фактом, что применение понятий, подобных температуре и энтропии, относится к экспериментальным условиям, несовместным с полным контролем над движением отдельных молекул.

В сохранении и росте живых организмов видели иногда противоречие с вытекающим из законов термодинамики стремлением к температурному и энергетическому равновесию изолированной физической системы. Однако мы должны помнить, что живые организмы непрерывно снабжаются свободной энергией путем питания и дыхания и самые тщательные физиологические исследования никогда не обнаруживали никакого отклонения от принципов термодинамики. Все же признание такого рода сходства между живыми организмами и обыкновенными силовыми двигателями, конечно, никоим образом не достаточно для ответа на вопрос о положении живых организмов в описании природы; этот вопрос, очевидно, требует более глубокого анализа проблемы наблюдения.

Как раз эта проблема и была неожиданно выдвинута на первый план открытием универсального кванта действия, выражающего свойство цельности атомных процессов; это свойство не допускает того различения

между наблюдением явления и поведением объектов самих по себе, которое столь характерно для механистической концепции природы. В физических системах обычного масштаба изображение событий как цепи состояний, описываемых доступными измерению величинами, покоится на том обстоятельстве, что мы имеем здесь дело с действиями достаточно большими, чтобы можно было пренебрегать взаимодействием между объектами и телами, которые служат как измерительные инструменты. В условиях, когда квант действия играет решающую роль и когда взаимодействие составляет неотъемлемую часть явления, уже нельзя в этой же мере приписывать явлениям ход, точно определенный в механическом смысле.

Мы стоим здесь перед крушением обычных физических наглядных представлений; это крушение убедительно сказывается в трудности говорить о свойствах атомных объектов независимо от условий их наблюдения. В самом деле, электрон, несомненно, можно рассматривать как заряженную материальную частицу, поскольку измерения его инертной массы всегда дают один и тот же результат и поскольку каждая передача электричества между атомными системами всегда равна целому кратному числу так называемого единичного заряда. Между тем интерференционные эффекты, возникающие, когда электроны проходят сквозь кристаллы, несовместимы с механическими представлениями о движении частиц. Мы встречаем аналогичные черты в известной дилемме о природе света, поскольку оптические явления требуют понятия о распространении волн, тогда как законы передачи количества движения и энергии в атомных фотоэффектах опираются на механическое представление о частицах.

Эта ситуация, новая в физической науке, потребовала нового анализа тех предпосылок, на которых основано применение понятий, употребляемых нами для ориентирования в окружающем. Конечно, в атомной физике мы сохраняем свободу ставить природе вопросы в форме экспериментов, но мы должны признать, что все разнообразные экспериментальные условия определяются исключительно телами, настолько тяжелыми, что в описании их действия можно не считаться с квантом. Информация об атомных объектах получается только в форме следов, которые они оставляют на этих

измерительных приборах; таким следом является, например, пятно от удара электрона о фотографическую пластинку, помещенную в экспериментальной установке. То обстоятельство, что такие следы происходят от необратимых усилительных эффектов, придает явлениям своеобразный законченный характер, прямо указывающий на принципиальную необратимость самого понятия наблюдения.

Особенность положения в квантовой физике состоит прежде всего в том, что информация, полученная об атомных объектах, не может быть объединена и истолкована на основе того подхода, который типичен для механистической концепции природы. Уже тот факт, что в одной и той же экспериментальной установке будут, вообще говоря, регистрироваться наблюдения, относящиеся к разным индивидуальным квантовым процессам, влечет за собой принципиальное ограничение детерминистического метода описания. Далее, классическое физическое описание покоится на требовании неограниченной возможности подразделять явление; но это требование явно несовместно со свойством цельности типичных квантовых явлений. В самом деле, всякое поддающееся определению подразделение требует изменения экспериментальной установки, благодаря которому возникают новые индивидуальные эффекты.

Чтобы характеризовать соотношение между явлениями, наблюденными при разных экспериментальных условиях, был введен термин «дополнительность»; он подчеркивает тот факт, что, взятые вместе, такие явления исчерпывают всю поддающуюся определению информацию об атомных объектах. Идея дополнительности отнюдь не содержит произвольного отказа от привычного физического объяснения; но она непосредственно относится к нашему положению наблюдателей в такой области опыта, где однозначное применение понятий, используемых при описании явлений, существенно зависит от условий наблюдения. Математическое обобщение системы понятий классической физики дало возможность развить формальный аппарат, в котором остается место для логического включения кванта действия. Непосредственная цепь этой так называемой квантовой механики состоит в формулировании статистических закономерностей, относящихся к данным, добытым в определенных

условиях наблюдения. Принципиальная полнота такого рода описания обеспечивается тем, что при этом идеи классической механики сохраняются в пределах, достаточных для характеристики любых поддающихся определению вариантов экспериментальных условий.

Дополнительный характер квантово-механического описания ясно выражен в способе описания состава и реакций атомных систем. Так, характерные спектры элементов и валентности химических соединений зависят от закономерностей, относящихся к энергетическим состояниям атомов и молекул, а эти закономерности обнаруживаются только при таких обстоятельствах, когда возможность контроля над положениями электронов в атоме или в молекуле исключена. В этой связи интересно отметить, что плодотворное применение структурных формул в химии покоится единственно на том факте, что атомные ядра намного тяжелее электронов. Однако что касается устойчивости и превращений самих ядер, то там квантово-механические свойства опять становятся решающими. Только в дополнительном описании, выходящем за рамки механистического понимания природы, и можно найти место для фундаментальных закономерностей, определяющих свойства тех веществ, из которых состоят наши инструменты и наши тела.

Прогресс в области атомной физики нашел, как известно, широкое применение в биологических науках. В частности, я могу указать на достигнутое нами понимание своеобразной устойчивости химических структур в клетках, передающих наследственные свойства вида, а также понимание статистических законов появления мутаций в организмах, подвергшихся воздействию специальных факторов. Далее, усилительные эффекты, подобные тем, какие позволяют наблюдать индивидуальные атомные частицы, играют решающую роль во многих отправлениях живого организма. Наличие таких эффектов подчеркивает необратимый характер типичных биологических явлений. А присущая описанию отправления живых организмов направленность хода времени ярко проявляется в способности организмов использовать предшествующий опыт для реакций на последующие раздражители.

В этом многообещающем развитии мы имеем дело с очень важным и, по существу, почти неограниченным

расширением области применения чисто физических и химических идей к биологическим проблемам. А так как квантовая механика представляется рациональным обобщением классической физики, то в целом этот подход можно назвать механистическим. Вопрос, однако, в том, действительно ли и в каком смысле такой прогресс подрывает основы для применения в биологии так называемых финалистических аргументов. Здесь мы должны признать, что описание и толкование замкнутых квантовых явлений не обнаруживает никаких признаков, указывающих на то, что организация, составленная из атомов, способна приспосабливаться к окружающему так, как мы это видим в случае самосохранения и эволюции живых организмов. Далее, необходимо подчеркнуть, что исчерпывающий, в смысле квантовой физики, отчет о всех непрерывно обменивающихся атомах живого организма не только невозможен, но, очевидно, потребовал бы таких условий наблюдения, которые несоместны с проявлением жизни.

Однако поучение, касающееся того, какую роль играют орудия наблюдения в определении элементарных физических понятий, дает ключ к логическому применению таких понятий, как целесообразность, которые чужды физике, но так прекрасно приспособлены к описанию органических явлений. В самом деле, если иметь это в виду, то будет очевидно, что взгляды, называемые механистическими и финалистическими, не представляют противоречащих друг другу точек зрения на биологические проблемы, а скорее подчеркивают взаимно исключаящий характер условий наблюдения, одинаково необходимых для наших поисков все более полного описания жизни. Здесь, конечно, речь идет не об объяснении такого типа, как описание работы простых механических конструкций на основе классической физики или как описание действий сложных электронных счетных машин. Предмет нашего обсуждения — расширение того анализа предпосылок и области применимости понятий, служащих для передачи опыта, который стал характерной чертой новейшего развития физики.

Если не считать различий в условиях наблюдения, словесная передача биологических опытных данных содержит не больше ссылок на субъективного наблюдателя, чем описание опыта физического. Таким образом,

до сих пор не было надобности входить в подробности тех условий наблюдения, которые характерны для отчета о психологических явлениях. Но для этих последних мы уже не можем полагаться на систему понятий, выработанную для нашего ориентирования в неживой природе. Однако сознательный опыт запоминается, и потому он должен быть связан с остаточным изменением конституции организма. Этот факт заставляет думать о сходстве между психическими опытами и физическими наблюдениями. Что касается зависимостей между разными видами сознательного опыта, то тут мы тоже встречаем черты, напоминающие условия для связного описания атомных явлений. Богатый словарь, которым мы пользуемся при описании нашего душевного состояния, как раз и подразумевает типично дополнительный метод описания, соответствующий непрерывному изменению того предмета, на котором сосредоточено внимание.

Механистический метод описания потребовал расширения, чтобы можно было охватить неделимость атомных явлений. Подобно этому, цельность живого организма и единство личности, конечно, ставят нас лицом к лицу с необходимостью дальнейшего обобщения той основы, на какой возможно рациональное использование наших средств общения. В этом отношении надо подчеркнуть, что необходимое для однозначного описания разграничение между субъектом и объектом сохраняется и здесь. Это достигается тем, что в каждом сообщении, содержащем ссылку на нас самих, мы, так сказать, вводим новый субъект, не являющийся предметом нашего сообщения. Едва ли нужно особо подчеркивать, что именно эта свобода выбора линии разграничения субъекта — объекта и освобождает место для многообразия сознательных явлений и богатства человеческой жизни.

Та точка зрения на общие проблемы познания, к которой привело нас развитие физики в этом столетии, существенно отличается от подхода к таким проблемам во времена Стенсена. Однако это не значит, что мы сошли с того пути к обогащению наших познаний, по которому он шел с таким большим успехом; мы только ясно поняли, что стремление к красоте и гармонии, которое отличало деятельность Стенсена, требует неуклонного пересмотра предпосылок и степени общности понятий, используемых в качестве средств общения.

Квантовая физика и философия

1959

Значение физических наук для философии состоит не только в том, что они все время пополняют сумму наших знаний о неодушевленной материи, но и прежде всего в том, что они позволяют подвергнуть проверке те основания, на которых покоятся наши самые первичные понятия, и выяснить область их применимости. Накопление экспериментальных данных и развитие теоретических понятий, несомненно, приводят к усовершенствованиям в терминологии. Тем не менее, всякое описание физических результатов основано в конечном счете на обычном языке, приспособленном к тому, чтобы разбираться в окружающем и прослеживать связи между причинами и следствиями. Галилеева программа, согласно которой описание физических явлений должно опираться на величины, имеющие количественную меру, дала прочные основы для упорядочения опытных данных во все более и более широкой области.

В ньютоновой механике состояние системы материальных тел определяется их мгновенными положениями и скоростями. Если известно состояние системы в данный момент времени и если известны силы, действующие на тела, то в ньютоновой механике оказывается возможным, применяя хорошо известные простые законы, определить единственно из этих данных состояние системы во всякий другой момент времени. Описание такого

рода представляет, очевидно, идеальную форму причинной связи, соответствующую понятию *детерминизма*. Выяснилось, что такое описание применимо и в более широкой области. Так, при отображении электромагнитных явлений, где приходится рассматривать распространение сил с конечными скоростями, оказалось возможным сохранить детерминистское описание, включив в понятие состояния не только положения и скорости заряженных частиц, но и задаваемые по величине и по направлению электрические и магнитные силы в каждой точке пространства в рассматриваемый момент времени.

В этом отношении положение вещей не изменилось существенным образом в результате признания того, что описание физических явлений в определенной мере зависит от системы отсчета, избранной наблюдателем. Признание этого обстоятельства составляет содержание понятия относительности. Мы имеем здесь дело с чрезвычайно плодотворным научным направлением, которое позволило формулировать физические законы, общие для всех наблюдателей, и связать явления, представлявшиеся прежде несвязанными. Хотя в этих формулировках применяются математические абстракции, такие, как четырехмерная неевклидова метрика, физическое толкование для каждого данного наблюдателя основано на обычном отделении пространства от времени, причем сохраняется детерминистский характер описания. Сверх того, как было указано Эйнштейном, соответствующая различным наблюдателям координация событий в пространстве и времени такова, что она никогда не заменяет данную причинную последовательность событий на обратную. Поэтому теория относительности не только расширила область применимости, но и укрепила основы детерминистского описания, являющегося характерным для того величественного здания, которое именуется классической физикой.

С открытием Планком *элементарного кванта действия* началась, однако, новая эпоха в физических науках. Это открытие обнаружило свойственную атомным процессам черту *цельности*, идущую гораздо дальше старой идеи об ограниченной делимости материи. Стало ясно, что свойственное классическим физическим теориям наглядное картинное описание представляет идеализацию, применимую только к явлениям, которые

удовлетворяют условию, что все величины размерности действия, встречающиеся в их анализе, настолько велики, что по сравнению с ними квантом действия можно пренебречь. В явлениях обычного масштаба это условие выполняется с избытком; напротив, в опытных данных, относящихся к атомным частицам, мы наталкиваемся на закономерности нового типа, не поддающиеся детерминистскому анализу. Эти квантовые законы обуславливают замечательную устойчивость атомных систем и определяют их реакции; тем самым они в конечном счете ответственны и за те свойства материи, от которых зависят наши способы наблюдения.

Задача, с которой столкнулись физики, состояла, таким образом, в том, чтобы рациональным образом обобщить классическую физику, гармонически включив в нее квант действия. После предварительного исследования полученных из опыта данных, произведенного более грубыми методами, эта трудная задача была в конце концов решена путем введения надлежащих математических абстракций. Так, в аппарате квантовой механики на месте величин, характеризующих в обычной механике состояние физической системы, выступают символические операторы, подчиненные некоммутативному правилу умножения, содержащему постоянную Планка. Эта формулировка предотвращает фиксирование такого рода величин с точностью, потребной для детерминистического описания, принятого в классической физике, но вместе с тем позволяет находить спектральное распределение этих величин в соответствии с данными об атомных процессах. Сообразно его не-модельному характеру, физическое толкование математического аппарата находит свое выражение в законах существенно статистического (вероятностного) типа, относящихся к результатам наблюдений, полученным в данных экспериментальных условиях.

Несмотря на то, что квантовая механика представляет могущественное средство для упорядочения огромного экспериментального материала, относящегося к атомным объектам, тот факт, что она так сильно отклоняется от привычных требований причинного объяснения явлений, естественно, дал повод поставить вопрос, действительно ли мы имеем здесь дело с полным описанием того, что дает опыт. Для ответа на этот вопрос,

очевидно, требуется тщательное рассмотрение условий; необходимых для однозначного применения понятий классической физики к анализу атомных явлений. Решающим является здесь признание того положения, что описание экспериментальной установки и результатов наблюдений должно производиться на понятном языке, надлежащим образом усовершенствованном путем применения обычной физической терминологии. Это есть просто требование логики, так как под словом «эксперимент» мы можем разуметь единственно только процедуру, о которой мы можем сообщить другим, что нами проделано и что мы узнали.

В действительных экспериментальных установках выполнение такого рода требований обеспечивается тем, что в качестве измерительных приборов применяются твердые тела, достаточно тяжелые, чтобы можно было характеризовать их относительные положения и скорости чисто классическим образом. В связи с этим существенно иметь также в виду, что всякая однозначная информация об атомных объектах выводится из положения исчезающих отметок на телах, определяющих экспериментальные условия, — отметок, подобных пятну на фотографической пластинке, вызванному ударом электрона. Необратимые усилительные эффекты, на которых основана регистрация наличия атомных объектов, не вносят при этом никаких особых затруднений, а только напоминают нам о том, что самое понятие наблюдения связано с существенной необратимостью. Описание атомных явлений имеет в этом отношении совершенно объективный характер, в том смысле, что оно обходится без явной ссылки на какого-либо индивидуального наблюдателя; по этой же причине передача информации не связана с какой-либо неоднозначностью, если только учитывать требования теории относительности.

Во всех этих отношениях проблема наблюдения в квантовой физике ни в какой мере не отличается от классического физического подхода. Существенно новой чертой анализа квантовых явлений является, однако, то, что вводится фундаментальное различие между измерительным прибором и изучаемыми объектами. Оно представляет прямое следствие необходимости описывать работу измерительных приборов на языке

классической физики, не вводя явным образом кванта действия. С другой стороны, квантовые черты явления содержатся в выводимой из наблюдений информации об атомных объектах. В то время как в классической физике взаимодействием между объектом и прибором можно пренебречь или, если надо, можно его компенсировать, в квантовой физике это взаимодействие составляет нераздельную часть явления. Сообразно этому, однозначное описание собственно квантового явления должно, в принципе, включать описание всех существенных частей экспериментальной установки.

Повторение одного и того же опыта, характеризуемого как описано выше, дает, вообще говоря, *разные* отсчеты, относящиеся к объекту; этот факт непосредственно приводит к выводу, что обобщающая формулировка полученных из опыта результатов в этой области должна выражаться в форме статистических (вероятностных) законов. Едва ли нужно особо подчеркивать, что мы имеем здесь дело отнюдь не с чем-либо аналогичным обычному применению статистики к описанию физических систем, чересчур сложных для того, чтобы можно было практически дать полное определение их состояния, достаточное для детерминистского описания. Такое описание подразумевает возможность неограниченно подразделять и детализировать события, тогда как в случае квантовых явлений эта возможность принципиально исключается в силу требования конкретно указывать экспериментальные условия. В самом деле, типичная для собственно квантовых явлений черта цельности находит свое логическое выражение в том обстоятельстве, что всякая попытка определенным образом подразделить данное явление потребовала бы изменения в экспериментальной установке, — изменения, несовместного с определением данного явления.

В области применимости классической физики все стороны и свойства данного объекта могут быть в принципе обнаружены при помощи *одной* экспериментальной установки, хотя на практике часто бывает удобно применять для изучения разных сторон явления разные установки. В самом деле, полученные таким путем данные просто складываются и могут быть скомбинированы в одну связную картину поведения изучаемого объекта. Напротив, в квантовой физике данные об атомных

объектах, полученные при помощи разных экспериментальных установок, находятся в своеобразном дополнительном отношении друг к другу. Действительно, следует признать, что такого рода данные, хотя и кажутся противоречащими друг другу при попытке скомбинировать их в одну картину, на самом деле исчерпывают все, что мы можем узнать о предмете. Отнюдь не ограничивая наши стремления задавать природе вопросы в форме экспериментов, понятие *дополнительности* просто характеризует возможные ответы, получаемые в результате такого исследования в том случае, когда взаимодействие между измерительным прибором и объектом составляет нераздельную часть явления.

Разумеется, классическое описание экспериментальной установки и необратимость отсчетов, относящихся к атомному объекту, обеспечивают последовательность между причиной и следствием в соответствии с очевидным и элементарным требованием *причинности*. В то же время окончательный отказ от классического идеала детерминизма находит себе яркое выражение в соотношениях *дополнительности*, представляющих условия для однозначного применения основных понятий, безусловное и неограниченное применение которых составляет основу классического описания. В самом деле, для констатации наличия атомной частицы в ограниченной области пространства и времени требуется экспериментальное устройство, связанное с переносом количества движения и энергии к телам, подобным неподвижным масштабам и синхронно идущим часам; а этот перенос не может быть включен в описание работы упомянутых приборов без отказа от их пригодности к выполнению их роли фиксировать систему отсчета. Обратное, всякое строгое применение к атомным процессам законов сохранения количества движения и энергии предполагает в принципе отказ от детальной локализации частиц в пространстве и времени.

Эти обстоятельства находят себе количественное выражение в соотношениях неопределенности Гейзенберга. Последние дают связь (обратную пропорциональность) между неточностями допустимого в квантовой механике фиксирования тех кинематических и динамических переменных, которыми в классической механике

определяется состояние физической системы. Действительно, некоммутативность математических символов, которыми в аппарате квантовой механики представлены эти переменные, соответствует несовместимости экспериментальных установок, необходимых для их однозначного определения. В связи с этим заметим, что мы, очевидно, имеем здесь дело не с ограничениями точности измерений, а с ограниченной применимостью пространственно-временных понятий и динамических законов сохранения; эта ограниченная применимость связана с необходимостью проводить различие между измерительными приборами и атомными объектами.

При рассмотрении задач атомной физики для выполнения конкретных вычислений удобнее всего пользоваться шредингеровской функцией состояния. Путем применения определенных математических операций из этой функции могут быть выведены статистические законы для результатов наблюдений, получаемых при определенных условиях. Следует, однако, признать, что мы имеем здесь дело с чисто символическим приемом, однозначная физическая интерпретация которого требует в последнем счете ссылки на определенную экспериментальную установку. Неучет этого обстоятельства приводил иногда к недоразумениям. В частности, применение таких выражений, как «наблюдение возмущает явление» или «измерение создает физические атрибуты объектов», едва ли совместно с общепринятым значением употребляемых терминов и с обычным словоупотреблением.

В связи с этим поднимался даже вопрос, не следует ли в целях более точного представления сложившейся ситуации прибегнуть к многозначной логике. Предыдущие рассуждения показывают, однако, что какие бы то ни было отклонения от общепринятого языка и обычной логики полностью устраняются, если употреблять слово «явление» только в смысле чего-то такого, о чем возможно однозначным образом информировать; слово «измерение» должно при этом употребляться в своем прямом смысле количественного сравнения (сравнения с эталоном). Такая осторожность в выборе терминологии особенно важна при исследованиях в новой области, где информация не может быть заключена в

привычную схему, нашедшую столь широкое применение в классической физике.

Только имея все это в виду, можно убедиться в том, что квантовая механика удовлетворяет в отношении своей непротиворечивости и полноты всем требованиям, какие можно предъявить к рациональному объяснению. Так, для непротиворечивого толкования аппарата квантовой механики существенно исходить из отсчетов, делаемых на приборах при вполне определенных условиях опыта. Этот упор на конкретные отсчеты приборов становится на место основной предпосылки классического физического описания, согласно которой каждое звено в причинной цепи событий допускает в принципе непосредственную проверку. Полнота же описания, подобная той, к какой стремилась классическая физика, достигается принципиальной возможностью принимать во внимание все мыслимые экспериментальные установки.

Разумеется, такого рода рассуждения вовсе не означают, что атомная физика не принесет нам больше ничего нового в отношении экспериментальных открытий и математических средств для их описания и понимания. В самом деле, весьма возможно, что для объяснения новых закономерностей, открывающихся при исследовании атомных процессов весьма большой энергии, потребуются ввести в математический аппарат дальнейшие абстракции. Решающим является, однако, то обстоятельство, что при этом не может быть и речи о возвращении к такому способу описания, которое в большей степени шло бы навстречу привычным требованиям наглядного модельного представления связи между причиной и следствием.

Тот факт, что квантовые закономерности не могут быть проанализированы в классическом духе, обуславливает, как мы видели, необходимость ввести при описании того, что мы узнаём посредством опыта, логическое различие между измерительными приборами и атомными объектами, — различие, принципиально исключающее возможность исчерпывающего детерминистского описания. Резюмируя, можно сказать, что более широкие рамки дополнительности отнюдь не означают произвольного отказа от идеала причинности. Понятие дополнительности непосредственно выражает наше положение в вопросе об отображении фундаментальных

свойств материи, которые считались подлежащими классическому физическому описанию, но оказались вне пределов его применимости.

При всех различиях в ситуациях, характерных для применений понятий относительности и дополнительно-сти, эти ситуации представляют в гносеологическом отношении значительное сходство. В самом деле, в обоих случаях мы имеем дело с исследованием закономерностей, которые не могут быть охвачены наглядными представлениями, пригодными для отображения физических фактов в более ограниченной области. Решающим является, однако, то обстоятельство, что ни в одном из этих случаев расширение рамок наших понятий не предполагает какой-либо ссылки на наблюдающий субъект (эта ссылка была бы препятствием для однозначной передачи опытных фактов).

В рассуждениях теории относительности такая объективность обеспечивается учетом зависимости явлений от системы отсчета наблюдателя, тогда как в дополнительном описании какая-либо субъективность исключается благодаря учету тех обстоятельств, которые делают однозначным применение наших первичных понятий.

В общефилософском аспекте знаменательно здесь то, что в отношении анализа и синтеза в других областях знания мы встречаемся с ситуациями, напоминающими ситуацию в квантовой физике. Так, цельность живых организмов и характеристики людей, обладающих сознанием, а также и человеческих культур представляют черты целостности, отображение которых требует типично дополнительного способа описания. Передача опытных фактов в этих обширных областях знания требует богатого словаря, а из-за того, что словам иногда придается различный смысл, и прежде всего из-за различия в принятых в философской литературе толкованиях понятия причинности, цель такого рода сопоставлений часто понималась превратно. Но постепенно развитие терминологии, пригодной для описания более простой ситуации в области физики, показывает, что мы имеем здесь дело не с более или менее туманными аналогиями, а с отчетливыми примерами логических связей, которые в разных контекстах встречаются в более широких областях знания.

Квантовая физика И биология¹

1959

В ходе развития науки дискуссия о положении живых организмов в общем описании физических явлений прошла через целый ряд этапов. В древности очевидные неувязки, присущие сравнению живых организмов с простыми машинами, глубоко повлияли на отношение к механическим проблемам и даже привели к тому, что всякой материи стали приписывать жизненные признаки. Во времена Возрождения в результате выяснения начал классической механики эти взгляды были отброшены, и тем самым проблема вступила в другой этап своего развития, ускоренный великими открытиями этой эпохи в анатомии и физиологии.

Новейшие успехи техники, и в особенности развитие автоматического управления промышленными предприятиями и усовершенствование вычислительных устройств, заставили заново обсудить вопрос о том, в какой мере возможно конструирование механических или электрических моделей со свойствами, имитирующими поведение живых организмов. Конечно, может быть, и можно придумать модели, реагирующие любым заданным образом, включая свое собственное воспроизводство, если только они будут иметь доступ к нужным материалам и энергии. Оставляя в стороне вопрос о научной ценности таких сравнений, мы должны, однако, понять, что,

¹ Статья «Квантовая физика и биология» состоит из двух частей: физической и биологической. Мы печатаем здесь только биологическую часть, поскольку текст физической части целиком содержится в несколько более полной работе «Квантовая физика и философия», также включенной в этот сборник. — *Прим. ред.*

изучая модели заданной конструкции и с заданными функциями, мы находимся очень далеко от той ситуации, в которой мы оказываемся при исследовании живых организмов, где наша задача состоит в постепенном разгадывании их строения и их возможностей.

Во всякой модели обычного масштаба мы можем по существу пренебрегать атомным строением материи и ограничиваться описанием механических и электрических свойств материалов, использованных при сооружении машины, а также приложением простых законов, которые управляют взаимодействием между разными ее частями. Однако из биологических исследований ясно, что основные признаки живых организмов, и в частности их генетическое воспроизводство, зависят прежде всего от процессов атомного масштаба, где мы сталкиваемся с существенными ограничениями для применимости понятий классической физики.

Как известно, квантовая физика дает достаточно широкие возможности для описания свойств атомов, лежащих полностью вне той области, где допустим классический подход. Главный результат ее развития состоит в признании своеобразной устойчивости атомных и молекулярных структур, которая означает степень упорядоченности, несовместимую с неограниченным применением механических картин. Из свойственного классической физике детерминистического описания следует, что всякое возмущение системы, состоящей из огромного числа частей, непременно приводит к хаотическому беспорядку. В квантовой же физике это описание заменяется таким, согласно которому результат всякого взаимодействия между атомными системами зависит от исхода соревнования между различными индивидуальными процессами; эти процессы простым образом определяют состояния новых систем через посредство содержащихся в них атомных частиц, подобно тому как они определяли состояния первоначальных систем. С надлежащими уточнениями такого рода описание прямо соответствует химической кинетике, нашедшей широкое применение в молекулярной биологии.

Совсем новые перспективы постепенного разъяснения биологических закономерностей на основе прочно установленных принципов атомной физики появились за последние годы. Это произошло благодаря открытию

поразительно устойчивых структур специального назначения, несущих генетическую информацию, а также благодаря все более полному проникновению в процессы, которыми эта информация передается. Эти открытия наводят на мысль, что образование и регенерация структурных составных частей организмов при обмене веществ должны рассматриваться как процессы, по существу, необратимого характера, которые на каждом этапе обеспечивают наибольшую возможную стабильность, совместную с имеющимися условиями в отношении обмена материалом и энергией.

Таким образом, у нас нет причины ожидать какого-либо внутреннего ограничения для применимости элементарных физических и химических понятий к анализу биологических явлений. Тем не менее своеобразные свойства живых организмов, выработанные в результате всей истории органической эволюции, обнаруживают скрытые возможности чрезвычайно сложных материальных систем, не имеющие себе подобных в сравнительно простых проблемах, с которыми мы встречаемся в обычных физике и химии. На этом-то фоне и нашли себе плодотворное применение в биологии понятия, относящиеся к поведению организма как целого и как бы противостоящие способу описания свойств неодушевленной материи.

Хотя и здесь мы имеем дело, в том, что касается употребления надлежащей терминологии, с типично дополнительными соотношениями, необходимо подчеркнуть, что аргументация, применяемая в биологии, некоторыми своими существенными сторонами отличается от той, какая применяется в целях исчерпывающего объективного описания в квантовой физике. Это описание требует четко различать измерительные приборы от исследуемых объектов, что влечет за собой во всяком сообщении об атомных процессах взаимное исключение строгого применения локализации в пространстве и времени и законов сохранения энергии. Но такое различие уже учитывается, как указано выше, в применениях химической кинетики и термодинамики. «Дополнительный» подход в биологии нужен скорее по другой причине: его требуют те практически неисчерпаемые скрытые возможности живых организмов, которые обуславливаются их чрезвычайно сложным строением и функциями.

Содержание

От редакции	5
Предисловие редактора	7
Предисловие автора	9
Предисловие автора к русскому изданию . .	10
ВВЕДЕНИЕ	11
СВЕТ И ЖИЗНЬ	15
Речь на открытии Международного конгресса по световой терапии в Копенгагене; август 1932. [Напечатано в <i>Nature</i> , 131, 421 (1933).]	
БИОЛОГИЯ И АТОМНАЯ ФИЗИКА	27
Речь на Физическом и биологическом съезде памяти Луиджи Гальвани; Болонья, ноябрь 1937.	
ФИЛОСОФИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И КУЛЬТУРЫ НАРОДОВ	39
Речь на Международном конгрессе по антропологии и этно- логии на заседании в замке Кронеборг, Эльсинор; август 1938. [Напечатано в <i>Nature</i> , 143, 268 (1939).]	
ДИСКУССИИ С ЭЙНШТЕЙНОМ О ПРОБЛЕМАХ ТЕОРИИ ПОЗНАНИЯ В АТОМНОЙ ФИЗИКЕ	51
Статья для книги „Альберт Эйнштейн, философ-ученый“. Библиотека современных философов. Т. 7, 1949, стр. 199. (Albert Einstein, Philosopher-Scientist, Library of Living Phi- losophers, Evanston Illinois, 1949.) Статья напечатана также в журнале „Успехи физических наук“, 66, вып. 4, 571 (1958).	
ЕДИНСТВО ЗНАНИЙ	95
Речь, произнесенная на конференции в октябре 1954 г. в связи с двухсотлетием Колумбийского университета. Нью-Йорк. Напечатано в книге „Единство знаний“, 1955, стр. 47 (The Unity of Knowledge, Doubleday & Co, New York, 1955).	
АТОМЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ПОЗНАНИЕ	115
Речь, произнесенная на заседании Королевской датской академии наук в Копенгагене; октябрь 1955.	
ФИЗИЧЕСКАЯ НАУКА И ПРОБЛЕМА ЖИЗНИ	129
Статья, законченная в 1957 г. и основанная на лекции, прочитанной в Датском медицинском обществе; Копенгаген, февраль 1949.	
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ	139
Статья, впервые напечатанная в журнале „Успехи физи- ческих наук“, 67, вып. 1, 37 (1959).	
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И БИОЛОГИЯ	148
Речь, произнесенная на Симпозиуме по моделям в биологии (Часть биологическая); Бристоль, сентябрь 1959.	

Нильс Бор

АТОМНАЯ ФИЗИКА И ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ПОЗНАНИЕ

Переплет художника *Д. С. Громана*

Художественный редактор *Б. И. Астафьев*

Технические редакторы *Н. В. Зотова* и *Ю. И. Коротеева*

Корректор *К. И. Иванова*

Сдано в производство 28/II 1961 г. Подписано к печати 9/V 1961 г.

Бумага 84×108^{1/2} 2,4 бум. л. 7,8 печ. л. Уч.-изд. л. 7,6.

Изд. № 9/5527. Цена 61 к. Заказ № 2288.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва, 1-й Рижский пер. 2.

Типография № 2 им. Евг. Соколовой УПП Ленсовнархоза.

Ленинград, Измайловский пр., 29.

