



Атомы и человеческое познание

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 большая 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 содружества людей. При таком положении вещей важно ясно себе представить, что наука не знает национальных границ и что ее достижения являнутся 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 предпосылок, на которых основано применение наших самых элементарных понятий, расчислить 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 достроил 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 квантовомеханическом 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 необходимым 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 приборами 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 поддающиеся 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 обнаружало, 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 приспособляемостью. Это значит, что описание внутренних отправлений 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 отправлений живого организма, окажется несовместимой 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 в 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. Неизбежность 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 в 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 исключающими 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.