

## **Язык и реальность в современной физике<sup>71</sup>**

Принято было считать, что проблема языка играет в естественных науках подчиненную роль. Ведь здесь речь идет о предельно точном наблюдении различных областей природы, о понимании характера ее действий. Трудности, преодолеваемые физиком или химиком, связаны с несовершенством органов чувств или исследовательской аппаратуры, они обусловлены сложностью природных взаимосвязей, строй которых представляется нам поначалу непостижимым. Но если уж результаты получены, нет, кажется, ничего легче, чем рассказать о них, тем более нет никакой нужды специально обсуждать проблему языка. Правда, в истории науки часто оказывалось целесообразным, а порою и необходимым введение в язык дополнительных искусственных слов, удобных для обозначения ранее не известных объектов или взаимосвязей, и этот искусственный язык в общем и целом удовлетворительно описывал новооткрытые закономерности природы.

Когда же экспериментальные открытия новейшей физики и их успешный теоретический анализ в теории относительности и квантовой механике привели в последние десятилетия к пересмотру оснований физики, отношение к проблеме языка принципиально изменилось. По поводу некоторых принципиальных вопросов названных теорий развернулись страстные дискуссии, и уже по ходу этих дискуссий обнаружилось, что сам язык, на котором говорят о новых сферах исследования, стал проблематичным. Это не столь удивительно, если принять во внимание, что наш естественный язык сформировался в мире обыденного чувственного опыта, тогда как современная наука пользуется уникальной техникой, аппаратурой высочайшей тонкости и сложности и проникает с ее помощью в сферы, недоступные чувствам. Нельзя ожидать, что обыденный язык останется в силе и в этих новых областях; вот почему современный физик вынужден размышлять не только о постигаемых им закономерностях природы, но и о языке, с помощью которого он может о них говорить.

Размышление это можно начать с простых констатаций, и гуманитарные науки помогут нам в этом больше, чем естественные. Детьми мы научаемся словам и понятиям не потому, что нам их объясняют, а потому, что мы ими пользуемся. Слова — это как бы средства ориентации в окружающей действительности и освоения ее, оказывающиеся в процессе их употребления более или менее целесообразными. Если мы достаточно часто слышали и сами употребляли какое-нибудь слово, нам кажется, мы знаем, что оно означает. Пользуясь этими языковыми средствами, мы, правда, сталкиваемся с множеством затруднений; мы замечаем, например, что какое-нибудь слово не вполне вписывается в данный контекст или что неясно, в каком, собственно, смысле его здесь надо понимать. Слово представляется нам темным, мы узнаем к тому же, что исторически оно имело несколько разных значений. Возьмем любой пример. Положим, отправляясь на прогулку, мы говорили об озере, а наш спутник думает, что речь идет о небольшом пруде. Нам кажется, что в комнате тепло, а человек, только что пришедший с жаркой улицы, радуется прохладе. В немецком языке есть слово «entleihen» — «одолживать», а изучая английский, мы с удивлением констатируем наличие двух совершенно различных слов «to borrow» и «to lend», означающих одно и то же действие, но в одном случае со стороны берущего, а в другом — дающего в долг. Или: дальтоники тоже пользуются словами «красный» и «зеленый», но чувственные впечатления, связывающиеся у них с этими понятиями, почти одни и те же. Подобных примеров можно привести сколько угодно.

Разумеется, эти языковые трудности были замечены уже давно и сами собою вызывали попытки их устранения. Можно, к примеру, попробовать ограничить значение того или иного слова путем соглашения, иными словами, с помощью «дефиниции», уточняющей смысл слова. Можно четче выявить значение слова с помощью уточняющего пояснения. В качестве примера можно привести, скажем, разделение понятия «условие» на «необходимое условие» и «достаточное условие». Когда одна из воюющих сторон сообщает другой, побежденной, что она будет вести переговоры о перемирии, если некая территория будет освобождена, освобождение это может быть необходимым или достаточным условием переговоров. Оно необходимо, если при невыполнении его переговоры неизбежно не состоятся, оно достаточно, если при выполнении его

переговоры непременно состоятся. Впрочем, пытаясь подобным образом уточнить понятия, нужно ясно сознавать, что в этих дефинициях и пояснениях приходится в конце концов пользоваться понятиями, смысл которых необходимо заранее предполагать известным и, следовательно, принимать их без дальнейшего анализа; вот почему здание языка неизбежно стоит на шаткой почве.

В греческой философии со времен Сократа ограниченность наших языковых средств была центральной темой. Сократ, если верить записи его рассуждений в диалогах Платона, без устали боролся за ясность выраженных в слове понятий и стоящих за ними представлений. Ученик Платона Аристотель сделал в этом направлении решающий шаг вперед. Он исследовал формальную структуру языка и формы умозаключений, не зависящие от содержания посылок, создав в результате первую научную логику.

С другой стороны, логический анализ языка чреват опасностью слишком большого упрощения и известной односторонности в исследовании языковых возможностей. Будучи предпосылкой научного языка, обеспечивая однозначность и точность выводов, логика тем не менее не годится для описания живого языка, располагающего неизмеримо более богатыми выразительными средствами. Любое произнесенное слово вызывает у нас, конечно же, не просто определенное, вполне осознаваемое движение мысли, которое можно считать значением слова; это слово вызывает в глубинах нашего сознания множество смысловых оттенков и ассоциаций, едва уловимых, но зачастую существенных для понимания смысла услышанной фразы. Бывает, что именно это сплетение пробужденных словами полуосознанных представлений лучше передает смысл высказываемого, чем цепь строго логических умозаключений. Вот почему в особенности поэты часто выступают против преувеличения значимости логической структуры языка и справедливо подчеркивают значение других структур, основополагающих прежде всего для его художественного использования. Здесь, пожалуй, уместно сослаться на «Фауста» Гёте, на слова Мефистофеля из его разговора с учеником: «Фабрика мыслей подобна ткацкому станку, где тысяча нитей приводится в движенье одним толчком, где челнок скует туда и сюда, незримо струятся нити и разом завязывается тысяча связей»<sup>72</sup>.

Жизнь языка описана здесь очень верно, и если уж в науке нам приходится строить рассуждение, руководству-

ясь логической структурой языка, то не следует упускать из виду и другие, более богатые его потенции.

Здесь можно спросить: с чем, собственно, связано требование предельной однозначности и точности, предъявляемое к языку естественных наук, и почему другие, более богатые средства языковой выразительности практически не используются в них? Это требование диктуется прежде всего той задачей, которая стоит перед естественными науками, — попытаться отыскать некие упорядоченности в необъятном многообразии явлений окружающего мира, другими словами, понять эти разнородные явления, сведя их к простым принципам. Надо постараться вывести особенное из всеобщего, понять конкретный феномен как следствие простых и общих законов. Формулировка общего закона допускает использование лишь небольшого числа понятий, иначе закон не будет прост и всеобщ. Далее требуется, чтобы из этих понятий можно было вывести бесконечное многообразие возможных явлений, причем не только описать их качественно и приблизительно, но и ответить максимально точно на каждый конкретный вопрос. Очевидно, что понятия естественного языка со своейственной им неточностью и нечеткостью никоим образом не допускают такой возможности. Если из данных предпосылок требуется вывести последовательность заключений, число возможных звеньев в цепи зависит от точности предпосылок. Вот почему основные понятия, используемые в формулировках общих естественнонаучных законов, необходимо определять с наивысшей точностью, но это удается сделать только в строго логической системе, а в конечном счете — с помощью математических абстраций.

Поэтому в теоретической физике мы дополняем и уточняем естественный язык, сопоставляя основополагающие для определенной сферы опыта понятия с математическими символами, которые могут быть соотнесены с фактами, то есть с результатами измерений. С тех пор как 300 лет назад Исаак Ньютон написал свой знаменитый труд «Philosophiae naturalis principia mathematica», подобное дополнение и уточнение естественного языка с помощью математической схемы считалось всегда подлинным основанием точного естествознания. Эту схему можно назвать искусственным математическим языком. Значение основных понятий и сопоставленных им математических символов устанавливается благодаря системе дефиниций и аксиом. Символы связываются математическими уравнения-

ми, которые и можно считать точным выражением так называемых законов природы. Эти уравнения и выражаемые ими законы природы считаются верными, если нам удается вывести из законов природы — в качестве возможных решений системы уравнений — бесчисленное множество конкретных явлений, например если удается с высокой степенью точности вычислить время лунного затмения или траекторию искусственного спутника.

Впоследствии оказалось целесообразным вновь включить элементы этого искусственного математического языка в естественный язык, ввести в него, например, наименования некоторых математических символов, допускающих в какой-то мере наглядное эмпирическое истолкование. В результате такие понятия, как энергия, импульс, энтропия, электрическое поле, стали терминами обыденного языка. Добавлять сверх этого что-либо еще, казалось, не было нужды, и после того, как произошло отмеченное расширение языка, его сочли вполне достаточным для описания и понимания природных процессов.

Только в современной физике произошла здесь, можно сказать, пугающая перемена. С проникновением в область, непосредственно недоступные нашим ощущениям, язык наш порою тоже начинает отказывать. Подобно затупившимся инструментам, понятия нашего языка по отношению к новому ускользающему от них опыту оказываются уже некорректными. Такая возможность отмечалась в принципе уже давно, несколько веков назад. В повседневной жизни каждый понимает смысл слов «наверху» и «внизу». Тела падают вниз, а наверху синее небо. Убедившись, однако, в шарообразности Земли, заметили, что обитатели Новой Зеландии явно перевернуты относительно нас в пространстве, и с нашей точки зрения они как бы висят вниз головой. Можно было, правда, быстро успокоиться, попросту назвав направление к центру Земли направлением «вниз», а от центра — направлением «вверх», и тем самым вроде бы преодолеть трудность. Но в нашу эпоху можно запускать ракеты в космос, и вполне вероятно, что через несколько лет человек на космическом корабле более или менее надолго покинет Землю; для экипажа этого корабля понятия «наверху» и «внизу», как легко понять, вообще утрачивают всякий смысл. И все же довольно трудно представить, как чувствуют себя люди в мире, лишенном определений «верх» и «низа», как они говорят и что думают о нем.

Понятно, стало быть, что проникновение в новые области природы порой влечет за собой изменения в языке. Но в первые десятилетия XX века нам пришлось столкнуться с поразительным обстоятельством. Проникнув с помощью современных технических средств в новые сферы природы, мы узнали, что даже такие простейшие и важнейшие понятия прежней науки, как пространство, время, место, скорость, становятся здесь проблематичными и требуют переосмысления.

Космический корабль снова может послужить примером для разъяснения связанных с понятием времени проблем, с которыми столкнулись в эйнштейновской теории относительности. Допустим, космический корабль с большой скоростью удаляется от Земли и движется в космическом пространстве; допустим далее, что удается достаточно долго поддерживать связь между кораблем и Землей. Пусть на корабле имеются часы, сконструированные точно так же, как соответствующие часы на Земле, и откалиброванные по воспроизводимым физическим процессам. Тогда на основании поступающих с космического корабля сообщений наблюдатель на Земле в состоянии контролировать правильность корабельных часов. Он придет к заключению, что они идут чуть медленнее, чем земные часы. Космонавт же, который по сигналам, поступающим с Земли, тоже может сопоставить ход своих часов с ходом часов на Земле, придет к противоположному заключению: для него медленнее идут часы на Земле. Известные нам законы природы не позволяют сомневаться в том, что результат наблюдений был бы именно таков. Как же тогда вообще разумно сравнивать время на Земле и на корабле? Когда следует называть два события «одновременными», если одно из них происходит на Земле, а другое далеко от Земли, на космическом корабле? Если, например, мы отметим на Земле момент получения сигнала с космического корабля, то момент времени на корабле, который следует назвать «одновременным» с этим событием, наступит, во всяком случае, позже момента, когда был послан сигнал. И этот момент по необходимости наступает раньше момента, когда на корабле принимают сигнал с Земли, посланный сразу же по получении первого. Поначалу нельзя решить, где же в этом интервале находится точка одновременности. Я не могу входить здесь в содержательный разбор проблемы переопределения понятия времени, решенной теорией относительности. Для нашей темы достаточно, впрочем, отметить то обстоя-

тельство, что в новой сфере опыта слово «одновременность» поначалу утратило смысл, подобно тому как на космическом корабле утрачивают смысл понятия «наверху» и «внизу», а это значит, что и здесь оказалось невозможным по-прежнему применять важные устоявшиеся в языке понятия.

При таком положении дел на первый взгляд вообще удивительно, что физики продолжают говорить об экспериментах и умеют их теоретически интерпретировать, так как основополагающие понятия их языка, а стало быть, и мышления перестают работать. К счастью, эти трудности оказываются менее серьезными. Возьмем все тот же пример с космическим кораблем. Физику, поддерживающему на Земле связь с кораблем — то же самое можно сказать и о космонавте, — при описании своих экспериментов нет нужды знать, что означает слово «одновременность» применительно к столь удаленной системе. Ведь для каждого из них эксперименты осуществляются в собственном небольшом пространстве, а для описания подобных процессов вполне достаточно обычного языка, точнее языка классической физики. А потому в пределах небольших пространств связь между математическими символами теоретической физики и опытами устанавливается без затруднений, то есть точно так же, как и в прежней физике. И только благодаря этому удается установить, правильно или неправильно описывает математический формализм теории относительности законы природы. Собственно, именно так и могли быть найдены ее законы. Трудности возникают, лишь когда мы пытаемся, опираясь на знание точных законов природы, сформулированных в теории относительности, говорить о пространственно-временных отношениях в целом. Обычного языка здесь уже недостаточно.

С момента открытия теории относительности прошло более полувека, поэтому допустимо поставить вопрос о языке в историческом плане. Каким языком на деле пользовались физики, говоря о пространственно-временных отношениях в целом? Был ли язык экспериментальных описаний непосредственно согласован с искусственным языком математики, который, как мы знаем, верно описывает реальные соотношения, или же они были оторваны друг от друга? И если в большинстве случаев довольствовались приблизительным указанием, то всюду ли, где была необходима точность, приходилось ограничиваться искусственным языком математики?

. В теории относительности разговорный язык в самом деле соответствовал искусственно математическому языку. Забегая вперед, хочу заметить, что в квантовой теории, о которой речь пойдет ниже, положение было иным. В теории относительности мы привыкли к тому, что по предложению Эйнштейна стали всегда добавлять к слову «одновременно» слова «относительно определенной системы отсчета», сохраняя тем самым точный смысл понятия одновременности. В результате вопрос о том, какие же часы отстают на самом деле, а какие только по видимости, некогда бывший предметом жарких дискуссий, стал бессодержательным и за последние десятилетия фактически не дискутировался. Столы же бессмысленно решать вопрос, действительно или мимо сокращение движущегося тела в направлении движения, описываемое формулой Лоренца; эта проблема также могла быть передана забвению. Мы свыклись теперь с мыслью о том, что мир «в действительности» не таков, каким рисуют нам его обыденные понятия, и в новых сферах опыта мы должны быть готовы столкнуться с парадоксами.

Когда Эйнштейн в 1916 году расширил теорию относительности и перешел к так называемой общей теории относительности, геометрия тоже подверглась пересмотру; обнаружилось, что геометрия зависит от гравитационного поля, от поля сил тяжести, а это значит, что геометрические отношения реального мира поддаются правильному описанию только с помощью неевклидовой геометрии типа римановой, иными словами, с помощью геометрии, полностью лишенной наглядности.

Философы горячо осуждали и этот вывод; мюнхенский философ Г. Динглер подчеркивал, например, что уже сама практика конструирования экспериментальной аппаратуры обеспечивает справедливость евклидовой геометрии<sup>73</sup>. Динглер рассуждал так: если механик стремится получить абсолютно плоские поверхности, он может действовать следующим образом: сделать сначала три приблизительно плоские поверхности более или менее равной величины; затем прикладывать их попарно друг к другу во всевозможных положениях. Степень соприкосновения этих поверхностей можно считать мерой их ровности. Механик будет стремиться к тому, чтобы соприкосновение каждой пары имело место во всех точках одновременно. Если этого удается достичь, можно математически доказать, что на плоскостях будет выполняться евклидова геометрия. Таким образом, наши собственные практичес-

ские действия обеспечивают истинность евклидовой геометрии и ложность всякой другой. С точки зрения общей теории относительности на это можно, разумеется, возразить, что приведенный довод доказывает справедливость евклидовой геометрии лишь в малых масштабах, а именно в масштабах нашего экспериментального инструментария. Евклидова геометрия в самом деле выполняется тут с такой высокой точностью, что вышеописанный процесс изготовления плоских поверхностей всегда осуществим. Имеющиеся и здесь крайне малые отклонения от евклидовой геометрии останутся незаметными, поскольку материал, из которого сделаны поверхности, не обладает абсолютной твердостью и допускает небольшие деформации, а кроме того, и потому, что понятие «соприкосновение» нельзя вполне точно определить. Для поверхностей же космического размера описанный процесс неосуществим. Впрочем, эта проблема не относится к области экспериментальной физики.

Справедливость евклидовой геометрии в малых масштабах и в общей теории относительности служит достаточным основанием для установления связи понятий классической физики с символами искусственного математического языка. Собираясь говорить о своих опытах, физик не испытывает ни малейшего затруднения; ведь опыты эти проходят всегда в малых масштабах пространства и времени, даже если он наблюдает очень далекие звезды или предельно быстро движущиеся частицы. Стало быть, и здесь язык физика-экспериментатора в конечном счете согласован с искусственным языком математики. На основе теории относительности сформировался в итоге язык, позволяющий говорить и о пространственно-временных отношениях в целом; тем самым упомянутые вначале трудности, вообще говоря, могут считаться преодоленными.

Гораздо более серьезные языковые трудности возникли, однако, в атомной физике. При описании процессов, протекающих в области мельчайших размеров, при описании взаимосвязей, проанализированных и математически выраженных квантовой теорией, обыденный язык и язык классической физики столь явно обнаружили свою неприменимость, что даже физики эйнштейновского ранга до конца жизни не в состоянии были примириться с новой ситуацией.

Положим, мы наблюдаем электроны в камере Вильсона; мы видим их след в виде полосы конденсированного

пара, похожей на полосу, по которой мы распознаем самолет, летящий высоко в небе; на этом основании мы уверенно говорим об электронах как о быстро летящих электрически заряженных частицах. Но в других экспериментах те же самые образования проявляются как волны, способные вызвать явления дифракции и интерференции; они, следовательно, не могут быть только частицами ничтожной протяженности, одновременно они должны быть и процессами, распространяющимися в более обширном пространстве. Как можем мы охарактеризовать подобные образования, если всякое сравнение с образами нашего чувствительно воспринимаемого мира оказывается неприменимым или в лучшем случае может выступать лишь в качестве намека и остается жестко связанным с экспериментами определенного типа? Здесь опять-таки невозможно входить в содержание квантовой теории и выяснить суть описываемых ею явлений, но, как и раньше, допустимо, пожалуй, задаваться вопросом о языке, на котором фактически говорят об атомах и элементарных частицах.

После открытия, сделанного Планком в 1900 году, история становления квантовой теории напоминает историю становления теории относительности, с той разницей, что первая заняла гораздо больше времени. Важнейшие экспериментальные данные в исследованиях атомных спектров и в химии были получены уже на рубеже столетий и накапливались в течение первых двух десятилетий XX века. Затем, в 20-е годы, на основе этого богатейшего материала была разработана математическая формулировка квантовой и волновой механики и в результате было достигнуто наконец полное понимание квантовомеханических явлений. За 30 лет, прошедших с тех пор, в среде физиков выработался язык, на котором они говорят об атомарных явлениях. На этот раз, однако, он не согласуется с искусственным языком математики. Вместо этого сложился особый прием: для описания мельчайших частей материи используются попеременно различные, противоречащие друг другу наглядные образы. В зависимости от характера конкретного эксперимента определяется, целесообразно ли в данном случае говорить о волне или о частице, о траекториях электрона или о стационарных состояниях. При этом, однако, мы всегда ясно сознаем, что подобные образы — лишь неточные аналогии, что мы имеем дело всего лишь с условными событиями и пытаемся с их помощью приблизиться к реальному событию.

Если же требуется точная формулировка, чаще всего приходится ограничиваться искусственным языком математики.

Такой способ формирования языка связан прежде всего с основополагающим парадоксом квантовой теории. Всякий эксперимент независимо от того, относится ли он к явлениям повседневной жизни или атомной физики, необходимо описывать в понятиях классической физики. Понятия классической физики образуют тот изначальный язык, на котором мы планируем опыты и фиксируем их результаты. Мы не в состоянии заменить его другим. Тем не менее законы природы ограничивают применимость этих понятий так называемыми соотношениями неопределенностей. Например, мы не можем точно знать положение элементарной частицы и одновременно с той же степенью точности — ее скорость. Чем точнее измеряем мы это положение, тем менее точно наше знание о скорости, и наоборот. Произведение обеих неточностей равно постоянной Планка, деленной на массу соответствующей частицы. Н. Бор говорил о дополнительности понятий места и скорости и указывал, как правило, на то, что в атомной физике мы вынуждены пользоваться разными способами описания, исключающими, но также и дополняющими друг друга, адекватное же описание процесса достигается в конечном счете только игрой различных образов. Ситуация дополнительности привела к тому, что физик, говоря о событии в мире атомов, нередко довольствуется неточным метафорическим языком и, подобно поэту, стремится с помощью образов и сравнений подтолкнуть ум слушателя в желательном направлении, а не заставить его с помощью однозначной формулировки точно следовать определенному направлению мысли. Речь становится однозначной, только если мы пользуемся искусственным языком математики, корректность которого подтверждается опытом и не вызывает сомнений.

Вообще говоря, нет принципиальных оснований отрицать возможность полного согласования разговорного слова с искусственным языком математики, и можно задаться вопросом, почему в квантовой механике этого не произошло, тогда как в теории относительности разговорный язык вполне естественно слился с математическим. Подлинная причина столь различного хода событий кроется, пожалуй, в том примечательном обстоятельстве, что в языке, соответствующем математическому формализму квантовой теории, уже нельзя было бы опираться на

классическую аристотелевскую логику; ее пришлось бы заменить другого рода логикой. К счастью, математики давно уже поняли возможность существования таких неаристотелевских логик, исследовали их и выяснили принципиальные проблемы, связанные с их использованием. Тем не менее неаристотелевская логика столь еще непривычна для человеческого мышления, что физики вряд ли оказались бы в состоянии воспользоваться ею. Вот почему язык физиков в действительности развивался по-другому. И все же поучительно познакомиться с логикой языка, соответствующего математической схеме квантовой теории.

Логика, называемая квантовой, была проанализирована уже в 30-е годы Г. Биркгофом и И. фон Нейманом, а недавно вновь подробно исследована К.-Ф. фон Вейцзеккером<sup>74</sup>. Прежде всего здесь должна утрачивать силу одна из основополагающих аксиом аристотелевской логики, то есть логики повседневной жизни. Речь идет о принципе, согласно которому либо утверждение некоего высказывания, либо его отрицание должно быть верным. Из двух высказываний, например «Здесь есть стол» и «Здесь нет стола», одно обязательно должно быть верным, а другое ложным, третьего не дано: *tertium non datur*. В квантовой логике вместо этой аксиомы выдвигается, согласно Вейцзеккеру, следующий постулат: в случае простой альтернативы отмеченного типа высказыванию приписывается определенная истинность, которую можно охарактеризовать двумя комплексными числами. Здесь, разумеется, неуместно входить в детали; отметим лишь, что эти числа позволяют образовать третье, именуемое значением истинности; оно равно 1, если высказывание верно, и 0, если оно ложно. Допустимы, однако, и промежуточные значения, например значение  $\frac{1}{2}$ , когда высказывание с равной вероятностью может оказаться как истинным, так и ложным. Существуют, следовательно, промежуточные ситуации, для которых остается неопределенным, должно или истинно высказывание, причем слова «остается неопределенным» ни в коем случае нельзя понимать просто в смысле незнания истинного положения дел. Высказывание с промежуточным значением истинности нельзя, стало быть, истолковывать так, что-де «в действительности» истинно либо одно, либо другое альтернативное высказывание и неизвестно лишь, какое из них считать таковым. Высказывание с промежуточным значением истинности скорее уж вовсе не поддается выражению на обыденном

языке. Вейцзеккер называет такое высказывание дополнительным по отношению к простым альтернативным высказываниям.

Против подобного расширения логики сразу же направляется возражение. Когда мы говорим или пишем об этой логике, мы недолго думая пользуемся обычной, аристотелевской логикой. Явно или неявно мы постоянно руководствуемся той же аксиомой: *tertium non datur*. В силу этого возникает впечатление, что задуманное расширение логики внутренне противоречиво. В ответ на это возражение Вейцзеккер справедливо подчеркнул возможность выделить в языке разные уровни. На первом уровне мы говорим об объектах, об атомах и электронах или же об объектах повседневной жизни, столах и стульях; на втором уровне говорится о высказываниях об объектах; он содержит, следовательно, высказывания о высказываниях об электронах или высказывания о теории электронов; на третьем уровне можно говорить о высказываниях о высказываниях об объектах и т. д. В принципе было бы допустимо пользоваться на различных уровнях языка различными логиками, а в предельном случае, на высшей ступени, вновь вернуться к обычной логике. В таком случае нечего было бы возразить против использования аристотелевской логики при описании более общей логики, действующей на других ступенях. Ситуация в логике напоминала бы тогда ситуацию в квантовой теории. Хотя мы должны утверждать, что квантовомеханические законы справедливы всюду, в том числе и в сфере явлений повседневной жизни, классическая физика содержится в квантовой в качестве предельного случая, а это значит, что при описании не слишком малых объектов квантовомеханические черты событий играют подчиненную роль и в повседневной жизни ими вообще можно пренебречь. Аналогично классическая, аристотелевская логика содержалась бы в квантовой в качестве предельного случая и во множестве рассуждений принципиально допускалось бы использование классической логики.

Более того, тот факт, что классическая физика содержится в квантовой в качестве предельного случая, представляет собой даже необходимое условие описания и теоретической интерпретации экспериментов в области атомной физики: ведь и в атомной физике приборы описываются в понятиях классической физики и в тех же понятиях сообщаются полученные результаты. Только поэтому они обладают однозначностью и воспроизводимостью, а

это — общепризнанное условие объективной и точной науки. Соответственно для понимания квантовой логики важна возможность пользоваться классической логикой при описании ее структуры.

Возвращаясь снова к низшему уровню языка, к высказываниям об объектах и тем самым к квантовой логике, поясним характерное отличие этой логики от обычной следующим примером: представим себе атом, движущийся в закрытом ящике, разделенном перегородкой пополам. Пусть в перегородке имеется очень маленькая дырка и атом временами может пролетать через нее. По классической логике атом может находиться либо в левой, либо в правой половине ящика. Третьей возможности не существует: *tertium non datur*. В квантовой теории, если мы вообще хотим продолжать пользоваться словами «атом» и «ящик», необходимо допустить и иные возможности, странным образом являющие собой смешение первых двух возможностей. Это требуется для объяснения результатов определенных опытов. Допустим, мы наблюдаем свет, рассеянный атомом, и проводим три испытания. В первом опыте атом заключен в левой половине ящика (дырка в перегородке закрыта) и мы измеряем распределение интенсивности рассеянного света. Во втором опыте атом заключен в правой половине ящика и снова изучается рассеянный им свет. В третьем опыте мы опять-таки исследуем распределение интенсивности рассеянного света при условии, что атом может свободно перемещаться из одной половины ящика в другую и обратно. И вот, если бы атом находился всегда либо в левой, либо в правой половине ящика, распределение интенсивности в третьем опыте необходимо складывалось бы из наложения соответствующих распределений первого и второго опытов, а общая картина определялась бы только временем, которое атом проводит в одной из половин. Эксперименты, однако, показывают, что это, вообще говоря, неверно. Реальное распределение интенсивности, как правило, оказывается иным в силу так называемой интерференции вероятностей, играющей важную роль в квантовой теории<sup>75</sup>. Здесь, впрочем, нет нужды объяснять суть дела детальней. В разобранном только что третьем случае налицо ситуация, характеризующаяся тем типом высказываний, который был назван дополнительным по отношению к типу альтернативных высказываний.

Рассмотрим теперь на этом примере различные уровни языка. В классической логике отношение между разными

уровнями было бы отношением однозначного соответствия. Два высказывания: «Атом находится в левой половине» и «Истинно, что атом находится в левой половине» — логически относятся к разным уровням. Но в классической логике оба высказывания полностью эквивалентны, то есть оба либо истинны, либо ложны. Не может случиться так, что одно будет истинным, а другое ложным. Но в логической схеме дополнительности это отношение сложнее. Из истинности или ложности первого высказывания действительно следует истинность или ложность второго, но из ложности второго не обязательно следует ложность первого. Если второе высказывание ложно, может все еще быть неопределенным, находится ли атом в левой половине ящика. Атом не обязательно будет находиться и в правой половине. Относительно истинности высказываний уровня языка остаются полностью эквивалентными, но относительно ложности они уже неэквивалентны. Отсюда легко понять и то, почему мы говорим о «неколебимости классических законов» в квантовой теории.

Везде, где применение в данном эксперименте законов классической физики приводит к определенному выводу, тот же результат даст и квантовая теория, и экспериментально он тоже будет подтверждаться.

Намеченная здесь модифицированная логика квантовой теории неизбежно влечет за собой модификацию онтологии. Ведь всякому высказыванию, которое оставляет неопределенным, в правой или в левой половине ящика находится атом, соответствует в природе некая ситуация, не отождествимая ни с той, когда атом находится в левой половине, ни с той, когда атом находится в правой половине ящика. Такие соответствующие дополнительным высказываниям состояния Вейцзеккер назвал сосуществующими состояниями, указывая тем самым, что оба альтернативных состояния присутствуют в них в качестве возможностей. Понятие состояния могло бы стать первой дефиницией в системе квантово-теоретической онтологии. Мы сразу же замечаем, что подобное использование слова «состояние», тем более выражения «сосуществующие состояния» столь радикально отличается от принятого в языке материалистической онтологии, что позволительно усомниться в целесообразности используемой здесь терминологии. С другой стороны, если мы понимаем, что слово «состояние» означает скорее возможность, чем действительность, и что его можно просто заменить словом

«возможность», получается вполне приемлемое понятие «существующие возможности» — ведь одна возможность может пересекаться с другой или включить ее в себя.

Отсюда видно, что понятие возможности, игравшее столь существенную роль в философии Аристотеля, в современной физике вновь выдвинулось на центральное место. Математические законы квантовой теории вполне можно считать количественной формулировкой аристотелевского понятия «динамис» или «потенция». Впрочем, Аристотель не предполагал использовать это понятие для расширения своей логики. Понятие «возможность» довольно-таки удачно занимает промежуточное положение между понятием объективной материальной реальности, с одной стороны, и понятием духовной, а потому субъективной реальности — с другой. Кvantовотеоретическая «вероятность» обладает хотя бы частичной объективностью, но если мы истолкуем ее как меру частоты, она будет иметь значение только по отношению к совокупности мысленно представимых событий.

Анализируя проблемы языковых трудностей при описаниях атомарных процессов, нередко сталкиваются с мнением, будто речь здесь идет о предметах, может быть, и интересных для дискуссии между физиками и философами, но слишком специальных и тонких; физики же экспериментаторы, химики и инженеры, работающие в сфере атомной техники, к счастью, могут отвлечься от всей этой проблематики, ибо она не играет никакой роли в решении их практических задач.

Мнение это оправдано лишь в том случае, если практик в самом деле отказывается говорить об атомах. Чтобы сообщить о результатах своих экспериментов, ему действительно не нужно заботиться о правилах квантовой логики. Но как только он захочет что-нибудь сказать о самих атомах или молекулах, как только, к примеру, химик возьмется написать формулу своих химических соединений — а без этого он вряд ли поймет проведенные им эксперименты, — он должен быть готов столкнуться с трудностями квантовой логики. На примере из области химии мы покажем, как нелегко бывает избежать подобных трудностей.

С тех пор как 100 лет назад химик Ф. Кекуле открыл строение молекулы бензола, известно, что она имеет кольцеобразную структуру и состоит из шести расположенных в виде правильного шестиугольника атомов углерода, к

каждому из которых присоединен атом водорода. Изображение этой молекулы можно найти во многих учебниках химии. Если спросить химика, как расположены валентные связи в этой молекуле, он ответит, что молекула скреплена тремя простыми и тремя двойными связями. Если шесть атомов углерода в кольце пронумерованы цифрами от 1 до 6, химик может показать эти связи на изображении молекулы, соединяя, скажем, атомы 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 двумя валентными штрихами. Зададим теперь следующий вопрос: а не бывает ли так, что двойные связи располагаются между атомами 2 и 3, 4 и 5, 6 и 1? Химик ответит, что и такая возможность столь же реальна, как и первая, что она полностью эквивалентна первой и невозможно установить, какая из них реализована на самом деле. Такой ответ еще не вполне удовлетворителен, поскольку не существует двух однородных и все же различных молекул бензола. На это химик, вероятно, ответит, что молекула как бы колеблется между обеими возможностями. Поскольку же он должен будет признать, что при достаточно низких температурах уже невозможно какое бы то ни было движение или изменение молекулы во времени, он будет вынужден прийти к заключению, что реальную связь следует понимать как своего рода смесь обеих возможностей. Вот так, не вполне сознавая это сам, химик пытается уклониться от квантовой логики. Ведь в повседневной жизни мы просто не в состоянии представить себе, какой смысл вообще имеет понятие смеси двух случаев: одного, когда стол есть, и другого, когда стола нет. Ясно, таким образом, что, если мы собираемся говорить о самих атомарных процессах и не хотим довольствоваться смутными намеками, обращение к квантовой логике неизбежно. Отправляясь мысленно в мир атомов, мы столь же мало сможем ориентироваться в нем с помощью классической aristotelевской логики, как космонавт — с помощью понятий «верх» и «низ». Понятно, впрочем, и то, почему физики до сих пор не применяют квантовую логику систематически, нередко довольствуясь всего лишь образами и сравнениями, с помощью которых им удается ориентировать мысль слушателя в желаемом направлении.

Долгое время казалось, что проблема языка в естественных науках играет вторичную роль. В современной физике это, без сомнения, уже не так. В нашу эпоху люди проникают в отдаленные, непосредственно недоступные для наших чувств области природы, лишь косвенно, с по-

мощью сложных технических устройств поддающиеся исследованию. В результате мы покидаем не только сферу непосредственного чувственного опыта, мы покидаем мир, в котором сформировался и для которого предназначен наш обыденный язык. Мы вынуждены поэтому изучать новый язык, во многих отношениях не похожий на естественный. Новый язык — это новый способ мышления. В итоге естественные науки со всей остротой выдвигают то самое требование, которое в наше время столь явно звучит во многих областях жизни.