**Язык и реальность в современной физике**

В. Гейзенберг

В истории науки поразительные открытия и новые идеи всегда приводили к научным дискуссиям; эти дискуссии вызывают появление полемических публикаций, и такая критика часто совершенно необходима для развития последних. Но эти споры почти никогда ранее не достигали той степени резкости, которую они приобрели после создания теории относительности, а также -- в меньшей степени -- квантовой теории. В обоих случаях научные проблемы в конечном счете были связаны даже со спорными вопросами политики, и некоторые физики пытались содействовать победе своих взглядов, прибегая к помощи политических методов. Эту бурную реакцию на новейшее развитие современной физики можно понять, только признав, что это развитие привело в движение сами основы физики и, возможно, естествознания вообще и что это движение вызвало ощущение, будто вся почва, на которую опирается естествознание, уходит из-под наших ног. Но вместе с тем это означает, пожалуй, и то, что еще не найден правильный язык, на котором можно говорить о новом положении дел, и что неточные и отчасти неправильные утверждения, высказанные в ряде случаев в пылу воодушевления новыми открытиями, вызвали появление всякого рода недоразумений. Здесь речь идет в самом деле о трудноразрешимой, принципиальной проблеме.

Усовершенствованная экспериментальная техника нашего времени ввела в поле зрения естествознания совершенно новые стороны явлений природы, стороны, которые не могут быть описаны с помощью понятий повседневной жизни или только с помощью понятий предшествующей физики. Но в таком случае, каким языком они должны описываться?

Первичным языком, который вырабатывают в процессе научного уяснения фактов, является в теоретической физике обычно язык математики, а именно -- математическая схема, позволяющая физикам предсказывать результаты будущих экспериментов. Физик может довольствоваться тем, что он обладает математической схемой и знает, как можно ее применять для истолкования своих опытов. Но ведь он должен говорить о своих результатах также и не физикам, которые не будут удовлетворены до тех пор, пока им не будет дано объяснение и на обычном языке, на языке, который может быть понят каждым. Но и для физика возможность описания на обычном языке является критерием того, какая степень понимания достигнута в соответствующей области. В каком объеме возможно вообще такое описание? Можно ли, например, говорить о самом атоме? Это настолько же языковая, насколько и физическая проблема, и поэтому прежде всего необходимо сделать несколько замечаний о языке вообще и о научном языке в особенности.

Язык был создан человеческой расой в доисторическое время как средство для передачи сообщений и как основа для мышления. Мы мало знаем о различных ступенях его формирования. Но, во всяком случае, ныне язык содержит большое количество понятий, которые могут рассматриваться как целесообразный инструмент для более или менее однозначной передачи сообщений о событиях повседневной жизни. Эти понятия были выработаны постепенно, в процессе использования языка, без критического анализа. При этом предполагается, что если некоторое слово употребляется достаточно часто, следовательно, мы более или менее точно знаем, что оно означает. Хорошо известен факт, что слова определены не столь четко, как это может показаться на первый взгляд, и что они обладают только некоторой ограниченной областью применения: например, можно говорить о куске дерева или о куске железа, но нельзя говорить о куске воды. Слово "кусок" не допускает его применения к жидким телам. Приведем другой пример. Бор при объяснении ограниченной применимости понятий обычно с большой охотой рассказывает следующую историю. Маленький мальчик приходит в магазин с пфенингом в руке и спрашивает: "Могу я у вас купить за один пфенинг конфетную смесь?" Продавец берет две конфеты из своих ящиков, дает их мальчику и говорит: "Смесь ты можешь сделать из них сам". Несколько более серьезный пример проблематичного соотношения слов и понятий представляет собой факт применения слов "красный" и "зеленый" дальтониками, хотя здесь, очевидно, границы применения этих слов дальтониками должны проходить совсем иначе, чем у других людей.

Эта принципиальная непосредственность смысла слов была осознана, разумеется, очень давно и вызвала желание давать определения, т. е., как гласит определение слова "определение", устанавливать границы, указывающие, где это слово может применяться, а где нет. Но определения могут быть даны, естественно, только с помощью других понятий, и в конце концов мы должны будем все-таки полагаться на некоторые понятия, которые принимаются так, как они есть, без анализа и определений.

В греческой философии проблема выражения понятий в языке была важнейшим предметом исследований со времен Сократа, жизнь которого представляла собой, если следовать ее художественному изображению в диалогах Платона, постоянное обсуждение содержания языковых понятий и границ наших средств выражения. Чтобы создать прочное основание для научного мышления, Аристотель в своих логических работах предпринял попытку проанализировать языковые формы и исследовать формальную структуру процесса вывода и заключений независимо от их содержания. На этом пути он достиг такой степени абстракции и точности, которая до того была не известна греческой философии, и тем самым в наивысшей степени содействовал выяснению и установлению определенного порядка в нашем способе мышления. Он фактически создал основы научного языка.

С другой стороны, логический анализ приносит с собой и опасность слишком большого упрощения. В логике внимание направлено на специальные языковые структуры, на однозначное связывание посылок и заключений, на простые схемы рассуждений. Всеми другими языковыми структурами в логике пренебрегают. Эти структуры могут получаться, например, благодаря ассоциациям между определенными промежуточными значениями слов; так, например, второстепенное значение слова, почти не оставляющее следа в нашем сознании, может все же существенно повлиять на содержание предложения, когда это слово произнесено. Тот факт, что любое слово может вызвать в нашем мышлении многие, только наполовину осознаваемые движения, может быть использован для того, чтобы выразить с помощью языка определенные стороны действительности более отчетливо, чем это было бы возможно с помощью логической схемы. Поэтому поэты часто выступали против такого преувеличенного подчеркивания логических схем в языке и мышлении, могущего привести к тому, что язык станет не пригоден для той цели, для какой он был первоначально создан. Здесь можно, например, напомнить известные слова, с которыми Мефистофель в "Фаусте" Гете обращается к ученику:

Цените время: дни уходят невозвратно! Но наш порядок даст привычку вам Распределять занятья аккуратно. А потому, мой друг, на первый раз, По мне, полезно было бы для вас Курс логики пройти в ее границах Начнут сейчас дрессировать ваш ум, Держа его в ежовых рукавицах, Чтоб тихо он без лишних дум И без пустого нетерпенья Всползал по лестнице мышленья, Чтоб вкривь и вкось, по всем путям, Он не метался там и сям. Затем внушат вам, ради той же цели, Что в нашей жизни всюду, даже в том, Что прежде сразу делать вы умели, -- Как, например, питье, еда, -- Нужна команда "раз, два, три" всегда. Так фабрикуют мысли. С этим можно Сравнить хоть ткацкий, например, станок. В нем управленье нитью сложно: То вниз, то вверх снует челнок, Незримо нити в ткань сольются; Один толчок -- сто петель вьются. Подобно этому, дружок, И вас философ поучает! "Вот это -- так и это -- так, А потому и это -- так, И если первая причина исчезает, То и второму не бывать никак". Ученики пред ним благоговеют, Но ткань соткать из нитей не сумеют Иль вот: живой предмет желая изучить, Чтоб ясное о нем познанье получить, -- Ученый прежде душу изгоняет Затем предмет на части расчленяет И видит их, да жаль: духовная их связь Тем временем исчезла, унеслась! 14

Это место содержит достойное восхищения описание структуры языка и обоснованную критику узости обычных логических схем.

С другой стороны, наука ведь должна основываться на языке как на единственном средстве передачи сообщений, и поэтому там, где проблема однозначности имеет большую важность, логические схемы должны играть свою роль. Специфическая трудность в этом пункте может быть, пожалуй, описана следующим образом. В естествознании мы пытаемся единичное вывести из общего: единичное явление должно быть понято как следствие простых общих законов. Эти общие законы, когда они формулируются в языке, могут содержать только некоторые немногие понятия, ибо, в противном случае, законы были бы не простыми и не всеобщими. Из этих понятий должно быть выведено далее бесконечное многообразие возможных явлений, и при этом не только качественно и приближенно, но и с огромной степенью точности в отношении всякой детали. Становится очевидным, что понятия обыденного языка, определенные, как правило, столь неточно и нечетко, никогда не позволили бы сделать такой вывод. Если из заданных посылок следует цепь заключений, то общее число возможных членов в цепи зависит от точности посылок. Поэтому в естествознании основные понятия общих законов должны быть определены с предельной степенью точности, а это возможно только с помощью математической абстракции.

Подобное же положение может иметь место и в других науках -- в них также могут стать необходимыми точные определения, например в юриспруденции. Но здесь общее число членов в цепи заключений никогда не бывает очень большим; поэтому здесь нет необходимости в совершенной точности, и в большинстве случаев мало-мальски точные определения оказываются исчерпывающе сформулированными с помощью понятий обыденного языка.

В теоретической физике мы пытаемся понять группы явлений, вводя математические символы, которые могут быть поставлены в соответствие некоторым фактам, а именно результатам измерений. Для символов мы находим имена, которые делают ясной их связь с измерением. Этим способом символы связываются, следовательно, с обыденным языком. Но затем символы связываются между собой с помощью строгой системы определений и аксиом, и в конце концов законы природы приобретают вид уравнений между символами. Бесконечное многообразие решений этих уравнений соответствует тогда бесконечному многообразию единичных явлений, возможных в данной области природы. Таким образом, математическая схема отображает рассматриваемую группу явлений в той мере, в которой соблюдаются соотношения между символами и измерениями. Эти соотношения позволяют также затем выразить сами законы природы в понятиях обыденного языка, так как наши эксперименты, состоящие из действий и измерений, всегда могут быть описаны этим языком.

Конечно, в процессе расширения наших научных знаний увеличивается и сфера применимости языка. Вводятся новые понятия, а старые начинают употребляться в новых областях в ином смысле, чем при их употреблении в обычном языке. Такие слова, как энергия, электричество, энтропия, представляют собой хорошо известные примеры. Так мы развиваем научный язык, который можно рассматривать как естественное расширение обычного языка, пригодное для заново создающихся научных областей.

В прошлом столетии в физику был введен ряд новых понятий, и в некоторых случаях понадобилось значительное время, прежде чем физики привыкли к употреблению этих новых понятий. Понятие "электромагнитного поля", например, в известном смысле содержалось уже в работах Фарадея, и то, что позднее стало фундаментом теории Максвелла, не легко и не сразу было принято физиками, которые ранее свое внимание направляли прежде всего на изучение механического движения материи. Введение этого понятия было связано с изменением основных научных представлений, а такие изменения никогда не могут протекать легко.

Несмотря на это, все понятия, введенные в физику до конца прошлого столетия, образовали замкнутую систему, которая может быть применена к широкому кругу явлений; эта система вместе с более ранними понятиями образовала язык, который может с успехом применяться в исследованиях не только ученых, но и техников, и инженеров. К основным представлениям этого языка принадлежат предположения о том, что последовательность событий во времени полностью независима от их расположения в пространстве, что в реальном пространстве справедлива евклидова геометрия и что процессы в пространстве и во времени происходят независимо от того, наблюдаются они или нет. Конечно, никто не оспаривал, что всякое наблюдение оказывает определенное воздействие на явление, которое должно наблюдаться, но в общем предполагалось, что благодаря достаточно осторожному проведению экспериментов это влияние можно сделать в конце концов сколь угодно малым. Это казалось действительно необходимым условием осуществления идеала объективности, считавшегося основой всего естествознания.

В это до некоторой степени спокойное состояние физики квантовая теория и специальная теория относительности внесли внезапное, сначала медленное, а затем постепенно убыстряющееся изменение основ естествознания. Первые бурные дискуссии вспыхнули о проблемах пространства и времени, поставленных теорией относительности. Как следует говорить о новом положении дел? Следует ли рассматривать лоренцово сокращение движущихся тел как действительное или только как кажущееся? Следует ли говорить, что структура пространства и времени действительно отлична от той, которую предполагали ранее, или же следует только сказать, что экспериментальные результаты при их теоретическом истолковании математически надо связывать таким образом, чтобы это соответствовало этой новой структуре, в то время как пространство и время как всеобщие формы созерцания, в которых мы воспринимаем мир, остаются тем, чем они всегда были? Действительной проблемой, стоявшей за многими этими спорными вопросами, являлся тот факт, что не существовало никакого языка, на котором можно было бы непротиворечиво говорить о новой Ситуации. Обычный язык основывался на старых понятиях о пространстве и времени, и только этот язык представлял собой средство однозначной передачи сообщений о расположении приборов и результатах измерений. Но одновременно эксперименты показывали, что старые понятия могут быть применены не повсюду.

Естественным исходным пунктом при истолковании теории относительности явилось поэтому то обстоятельство, что в предельном случае очень малых скоростей (скоростей, малых в сравнении со скоростью света) новая теория оказалась практически тождественной с предшествующей. Поэтому эта теория сама показывала, как следовало интерпретировать математические символы, как их поставить в связь с экспериментом и с понятиями обычного языка. Фактически только благодаря этой связи преобразования Лоренца в данном случае были найдены уже довольно рано. В этой области, стало быть, не было никакой неясности относительно значения слов и символов. Фактически этих связей было уже достаточно, чтобы применять теорию ко всей области эксперимента, имеющей отношение к проблеме относительности. Поэтому спорные вопросы о "реальном" или "кажущемся" лоренцовом сокращении или о смысле слова "одновременно" и т. д., собственно говоря, никакого отношения не имеют к фактам, а касаются только языка.

С другой стороны, относительно языка с течением времени было признано, что, возможно, не следует слишком строго настаивать на определенных принципах. Всегда было трудно найти убедительные для всех критерии того, какие понятия могут применяться в языке и как их следует применять. Возможно, правильнее и проще подождать дальнейшего развития языка, который через некоторое время благодаря этому развитию будет соответствовать новому положению дел. В специальной теории относительности такое соответствие фактически уже в значительной степени выработалось в последние пятьдесят лет. Например, различие между "реальным" и "кажущимся" лоренцовым сокращением просто исчезло. Слово "одновременный" в общем употребляется так, как это соответствует определению, данному в свое время Эйнштейном, в то время как для несколько более сложного понятия, обсуждаемого в одной из предыдущих глав этой книги, вошло в употребление выражение "пространственно подобный интервал" и т. д.

В случае общей теории относительности мысль о неевклидовом характере геометрии реального пространства была самым резким образом оспорена некоторыми философами, которые в данном случае утверждали, что уже сама схема выполнения наших экспериментов предполагает справедливость евклидовой геометрии.

Когда, например, механик пытается изготовить совершенно плоские поверхности, он может это сделать следующим образом. Он изготовляет сначала три поверхности примерно одинаковой величины, являющиеся более или менее плоскими. Затем он прикладывает каждую пару из этих плоскостей друг к другу в различных относительных положениях. Степень, в которой возможно теперь взаимное прилегание при всевозможных положениях поверхностей, .ложно считать мерой точности, с которой поверхности следует рассматривать как плоские. Механик будет доволен тремя плоскостями только тогда, когда прилегание каждой пары из них друг к другу имеет место одновременно во всех точках. Когда это достигнуто, можно доказать математически, что на всех трех поверхностях должна быть справедлива евклидова геометрия. Таким образом (так аргументировал, например, Г. Динглер), уже наши собственные действия направлены на то, чтобы выполнялась евклидова геометрия.

С точки зрения общей теории относительности здесь можно, естественно, ответить, что изложенная аргументация доказывает только справедливость евклидовой геометрии на малых расстояниях, а именно на расстояниях порядка размеров наших экспериментальных установок. Точность, с которой здесь справедлива евклидова геометрия, фактически столь велика, что описанный выше процесс изготовления плоских поверхностей может быть осуществлен всегда. Исключительно малые отклонения от евклидовой геометрии, еще имеющие место в этой области, не будут замечены, так как поверхности изготовляются из вещества, которое не является абсолютно твердым, а способно претерпевать небольшие деформации, а также потому, что понятие "прилегание" не может быть определено с совершенной точностью. Для поверхностей космического порядка описанный процесс не может быть применен. Но это уже проблема не экспериментальной физики.

Снова естественным исходным пунктом физического истолкования математических схем общей теории относительности является тот факт, что геометрия на малых расстояниях оказывается приблизительно евклидовой. В этой области общая теория относительности сближается с классической теорией. Поэтому здесь существует однозначная связь между математическими символами, измерениями и понятиями обычного языка. Напротив, в достаточно больших областях физически справедливой может оказаться неевклидова геометрия. Фактически уже задолго до того, как была создана общая теория относительности, возможность неевклидовой геометрии реального пространства обсуждалась математиками, особенно Гауссом в Геттингене. Когда Гаусс производил очень точные измерительно-геодезические работы, которые велись на базе треугольника, образованного тремя горами: Брокеном в Гарце, Инзельбергом в Тюрингии и Хохен-Хагеном близ Геттингена, он должен был также очень тщательно проверить дополнительно, составляет ли сумма трех углов треугольника действительно 180¦; он считал вполне допустимым обнаружение отклонения, которое в таком случае доказало бы отступление от евклидовой геометрии. Но на самом деле он не смог обнаружить в пределах точности своих измерений никаких отклонений.

В случае общей теории относительности язык, на котором мы формулируем общие законы, вполне соответствует научному языку математика, а для описания самих экспериментов применяют, как всегда, обычные понятия, так как на малых расстояниях евклидова геометрия справедлива с достаточной точностью.

Но самая трудная проблема в отношении применения языка возникает в квантовой теории. Здесь нет никаких простых направляющих принципов, которые бы нам позволили связать математические символы с понятиями обычного языка. Единственное, что прежде всего знают, это тот факт, что наши обычные понятия не могут быть применены к строению атома. Снова можно было бы считать естественным исходным пунктом физического истолкования формализма тот факт, что математическая схема квантовой механики для расстояний, больших по сравнению с протяженностью атома, приближается к математической схеме классической механики. Но даже это утверждение может быть высказано с некоторыми оговорками. И для больших расстояний существует много решений квантовомеханических уравнений, для которых найти аналогичные решения в пределах классической физики невозможно. В таких квантовомеханических решениях проявляет себя обсужденная выше интерференция вероятностей, вовсе не существующая в классической физике. Поэтому даже в предельном случае очень больших размеров связь математических символов, с одной стороны, с измерениями и обычными понятиями -- с другой, нисколько не тривиальна. Чтобы достигнуть однозначности такой связи, необходимо привлечь к рассмотрению еще вторую сторону проблемы. Необходимо обратить внимание на то, что система, которую следует рассматривать согласно методам квантовой механики, на самом деле является частью значительно большей системы, в конечном счете -- всего мира. Она находится во взаимодействии с этой большой системой, и мы должны добавить еще, что микроскопические свойства большей системы, по крайней мере в значительной степени, неизвестны. Эта формулировка, несомненно, правильно описывает положение дел, ибо система вовсе не могла бы быть предметом измерений и теоретических исследований, если бы она вообще не принадлежала к миру явлений, если бы ее не связывало никакое взаимодействие с большей системой, частью которой является наблюдатель. Взаимодействие с этой большей системой, с ее в значительной степени неизвестными, микроскопическими особенностями вводит тогда в описание -- а именно и в квантовомеханическое, и в классическое описание -- новый статистический элемент, который должен быть принят во внимание при рассмотрении системы. В предельном случае больших размеров этот статистический элемент в такой степени уничтожает результаты интерференции вероятностей, что теперь квантовомеханическая схема действительно сближается со схемой классической физики. В этом пункте можно поэтому установить однозначную связь между математическими символами квантовой теории и понятиями обычного языка, и этого соответствия оказывается фактически достаточно также для истолкования экспериментов. То, что остается, -- это проблемы, снова затрагивающие скорее область языка, чем область фактов, так как понятие "факт" предполагает, что феномен может быть описан на обычном языке.

Однако проблемы языка здесь приобретают значительно более серьезный характер. Мы хотим каким-то образом говорить о строении атома, а не только о наблюдаемых явлениях, к которым, например, относятся черные точки на фотографической пластинке или водяные капли в камере Вильсона. Но на обычном языке мы не можем этого сделать.

Анализ может быть продолжен теперь в двух совершенно противоположных направлениях. Можно спросить, какой способ выражения относительно атомов фактически укоренился среди физиков за 30 лет со времени формулирования квантовой механики, или можно описать попытки формулировать точный научный язык, соответствующий математической схеме квантовой теории.

В качестве ответа на первый вопрос можно подчеркнуть, что понятие дополнительности, введенное Бором при истолковании квантовой теории, сделало для физиков более желательным использовать двузначный язык вместо однозначного и, следовательно, применять классические понятия несколько неточным образом, соответствующим соотношению неопределенностей, попеременно употребляя различные классические понятия. Если бы эти понятия использовались одновременно, то это привело бы к противоречиям. Поэтому, говоря о траекториях электронов, о волнах материи и плотности заряда, об энергии и импульсе и т. д., всегда следует сознавать тот факт, что эти понятия обладают только очень ограниченной областью применимости. Как только это неопределенное и бессистемное применение языка приводит к трудностям, физик должен вернуться к математической схеме и использовать ее однозначную связь с экспериментальными фактами.

Это применение языка во многих отношениях довольно удовлетворительно, напоминая подобное же употребление языка в повседневной жизни или в поэтическом творчестве. Мы констатируем, что ситуация дополнительности никоим образом не ограничена миром атома. Может быть, мы сталкиваемся с ней, когда размышляем о решении и о мотивах нашего решения или когда выбираем, наслаждаться ли музыкой или анализировать ее структуру. С другой стороны, если классические понятия применяются подобным образом, то они всегда сохраняют некоторую неопределенность; они приобретают в отношении реальности тот же самый статистический смысл, какой примерно получают понятия классического учения о теплоте при их статистической интерпретации. Поэтому здесь, возможно, полезно краткое обсуждение статистических понятий термодинамики.

Понятие "температура" выступает в классической теории теплоты как понятие, описывающее объективные черты реальности, объективное свойство материи. В повседневной жизни довольно легко определить с помощью термометра, что мы понимаем под утверждением, что некоторое тело имеет определенную температуру. Но если мы хотим определить, что могло бы означать понятие "температура атома", то, даже если исходить при этом из понятий классической физики, мы все равно оказываемся в очень затруднительном положении. В самом деле, мы не можем понятие "температура атома" сопоставить с каким-нибудь разумно определенным свойством атома, а должны в известной степени связать его с недостаточностью наших знаний об атоме. Значение температуры может быть поставлено в связь с определенными значениями статистических ожиданий некоторых свойств атома, но есть основание сомневаться в том, следует ли называть такую величину статистического ожидания объективной. Понятие "температура атома" определенно ненамного лучше, чем понятие "смесь" в истории о маленьком мальчике, покупавшем конфетную смесь.

Подобным же образом в квантовой теории все классические понятия, когда их применяют к атому, определены столь же расплывчато, как и понятие "температура атома", -- они связаны со статистическими ожиданиями, только в редких случаях статистические ожидания могут почти граничить с достоверностью. Снова это подобно тому, как в классической теории теплоты затруднительно называть объективным статистическое ожидание. Можно было бы назвать его объективной тенденцией, "потенцией" в смысле философии Аристотеля. На самом деле я полагаю, что язык, употребляемый физиками, когда они говорят об атомных процессах, вызывает в их мышлении такие же представления, что и понятие "потенция". Так физики постепенно действительно привыкают рассматривать траектории электронов и подобные понятия не как реальность, а скорее как разновидность "потенций". Язык, по крайней мере в определенной степени, уже приспособился к действительному положению вещей. Но он не является настолько точным языком, чтобы его можно было использовать для нормальных процессов логического вывода, этот язык вызывает в нашем мышлении образы, а одновременно с ними и чувство, что эти образы обладают недостаточно отчетливой связью с реальностью, что они отображают только тенденции стать действительностью.

Неточность этого употребляемого физиками языка, заключенная в самой его сущности, привела к попыткам развить отличный от него точный язык, допускающий разумно определенные логические схемы в точном соответствии с математической схемой квантовой теории Из этих попыток, которые ранее были предприняты Биркгоффом и фон Нейманом и недавно еще более обстоятельно фон Вейцзеккером, следует, что математическая схема квантовой теории может быть истолкована как расширение или модификация классической логики. Должна быть явно изменена, в частности, основная аксиома классической логики. В классической логике предполагалось, что, поскольку некоторое утверждение вообще имеет какой-либо смысл, то или это утверждение, или отрицание утверждения должны быть истинными. Из двух высказываний -- "здесь есть стол" и "здесь нет стола" -- или первое, или второе утверждение должно быть истинным. "Tertium non datur", третья возможность не существует. Может случиться, что мы не знаем, правильно ли утверждение или его отрицание, но "в действительности" истинно только одно из них.

В квантовой теории этот закон "tertium non datur" должен быть, очевидно, изменен. Против всякого изменения этой основной аксиомы можно, естественно, сразу же возразить в том плане, что эта аксиома справедлива в обычном языке и что мы должны говорить на этом языке по крайней мере об изменении логики именно этого языка. Поэтому имело бы место внутреннее противоречие, если бы мы пожелали на обычном языке описать логическую схему, которая не находит в нем применения. Однако в этом пункте фон Вейцзеккер разъяснил, что необходимо учитывать различные ступени языка.

Первая ступень имеет дело с объектами, например с атомами или электронами Вторая ступень относится к высказываниям об объектах. Третья может относиться к высказываниям о высказываниях об объектах. В таком случае на различных уровнях можно было бы пользоваться различными логическими схемами. Правда, в конечном счете необходимо перейти к обычному языку и тем самым к классической логике. Но фон Вейцзеккер предлагает рассматривать классическую логику в отношении квантовой логики подобным же образом "априорно", как априорно предстает классическая физика в квантовой теории. Классическая логика оказалась бы тогда содержащейся в квантовой логике как своего рода предельный случай, однако последняя представляла бы собой все-таки более общую логическую схему.

При возможном изменении классической логики необходимо иметь дело прежде всего со ступенью языка, относящейся к самим объектам. Рассмотрим, например, атом, движущийся в замкнутом ящике, который, допустим, разделен стенкой на две равные части. Пусть в стенке имеется маленькое отверстие, так что атом может случайно перелетать из одной половины в другую. Тогда, согласно классической логике, атом может находиться или в левой, или в правой половине ящика. Не существует никакой третьей возможности, "tertium non datur". Однако в квантовой теории необходимо добавить, поскольку вообще применяются слова "атом" и "ящик", что имеются еще другие возможности, которые представляют из себя странного рода смеси обеих ранее перечисленных возможностей. Эти смеси необходимы, чтобы объяснить результаты наших опытов. Можно, например, наблюдать свет, рассеянный атомом. При этом возможно провести три опыта. В первом атом заключен только в левой половине ящика (например, благодаря тому, что отверстие закрыто) , и измеряется распределение интенсивностей рассеянного света. Во втором опыте атом заключен только в правой половине ящика, и снова измеряется рассеяние света. Наконец, в третьем опыте атом может свободно перемещаться по всему ящику туда и сюда, и опять с помощью измерительных приборов исследуется распределение интенсивностей рассеянного света. Если бы теперь атом постоянно находился или в левой, или в правой половине ящика, то распределение интенсивностей в третьем опыте должно было бы представлять собой смесь обоих предыдущих распределений интенсивности (в отношении, соответствующем промежуткам времени, которые атом проводит в одной и другой половине). Однако эксперимент показывает, что, вообще говоря, это не так. Действительное распределение интенсивностей вследствие рассмотренной ранее интерференции вероятностей изменяется.

Для того чтобы иметь возможность говорить об этой ситуации, фон Вейцзеккер ввел понятие "значение истинности". Любому простому альтернативному высказыванию типа "атом находится в левой (или в правой) половине ящика" сопоставляется как мера его "значения истинности" некоторое комплексное число. Если это число равно единице, значит высказывание истинно. Если число равно О, значит высказывание ложно. Но возможны и другие значения Квадрат абсолютного значения комплексного числа дает вероятность того, что высказывание является истинным. Сумма обеих вероятностей, относящихся к обеим частям альтернативы (в нашем случае -- слева, справа), должна равняться единице. Но любая пара комплексных чисел, сопоставляемая обеим частям альтернативы, представляет собой, согласно определению Вейцзеккера, высказывание непременно истинное, если данные числа имеют именно эти значения; обоих чисел, например, было бы достаточно, чтобы охарактеризовать описанный эксперимент по измерению распределения интенсивностей рассеянного света. Если слово "высказывание" применяют подобным образом, то понятие "дополнительности" можно ввести с помощью следующего определения: всякое высказывание, не тождественное ни с одним из пары альтернативных высказываний -- в нашем специальном случае ни с высказыванием "атом находится в левой половине", ни с высказыванием "атом находится в правой половине ящика", -- будет называться дополнительным по отношению к этим высказываниям. Для всякого дополнительного высказывания вопрос о том, находится ли атом слева или справа, неопределен. Однако выражение "неопределенно" никоим образом не эквивалентно выражению "неизвестно". "Неизвестно" означало бы, что атом в действительности находится или слева, или справа, и что мы только не знаем, где он находится. А "неопределенно" указывает на отличную от этого ситуацию, которая может быть описана с помощью дополнительного высказывания.

Эта общая логическая схема, детали которой здесь не могут быть приведены, точно соответствует математическому формализму квантовой теории. Она образует основу точного языка, который можно употреблять для описания строения атома. Однако применение такого языка все-таки ставит ряд трудных проблем, из числа которых мы хотим упомянуть здесь только две: соотношение различных ступеней языка и выводы относительно лежащей в основе его онтологии.

В классической логике для соотношения различных уровней характерно однозначное соответствие. Два высказывания -- "атом находится в левой половине" или "истинно, что атом находится в левой половине" -- логически относятся к различным уровням. В классической логике оба эти высказывания, однако, полностью эквивалентны, то есть -- они оба или истинны, или оба ложны. Невозможно, чтобы одно было истинным, а другое -- ложным. Однако в логической схеме дополнительности это соотношение запутаннее. Истинность или ложность первого высказывания действительно влечет истинность или ложность второго высказывания. Но ложность второго высказывания не влечет ложность первого высказывания. Если второе высказывание ложно, то находится ли атом в правой половине, с полной определенностью еще утверждать нельзя. Атом не обязательно должен находиться в правой половине. Полная эквивалентность обоих уровней языка относительно истинности высказываний еще сохраняется, но относительно ложности -- уже нет. С этой точки зрения можно понять так называемую "устойчивость классических законов в квантовой теории": всюду, где применение к данному эксперименту законов классической физики приводит к определенному выводу, этот же результат будет следовать и из квантовой теории, и экспериментально это также будет выполняться.

Последующей целью попытки Вейцзеккера является применение модифицированных логических схем также и на более высоких уровнях языка, однако эти вопросы не могут быть здесь обсуждены.

Вторая проблема, которую надо здесь кратко обсудить, касается онтологии, лежащей в основе модифицированной логической схемы. Если пара комплексных чисел характеризует в только что описанном смысле некоторое высказывание, то должны существовать в природе состояние или ситуация, в которых это высказывание является истинным. Попробуем в этой связи употреблять слово "состояние". "Состояния", соответствующие дополнительным высказываниям, будут тогда называться, согласно Вейцзеккеру, "сосуществующими состояниями". Это выражение "сосуществующие" правильно описывает положение дел; в самом деле, было бы затруднительно назвать их, например, "различными состояниями", потому что каждое состояние в определенной степени содержит и другие "сосуществующие состояния". Это понятие "состояния" представляло бы собой в таком случае первое определение квантовомеханической онтологии. Но тогда сразу же будет ясно, что употребление слова "состояние", особенно выражения "сосуществующее состояние", связано с онтологией, столь отличной от обычной материалистической онтологии, что можно сомневаться, целесообразно ли еще здесь применение такой терминологии. Если, с другой стороны, слово "состояние" понимать в том смысле, что оно обозначает скорее возможность, чем реальность, -- можно даже просто заменить слово "состояние" словом "возможность", -- то понятие "сосуществующие возможности" представляется вполне приемлемым, так как любая возможность может включать другую возможность или пересекаться с другими возможностями.

Все эти сложные определения и различия можно обойти, если ограничить применение языка описанием фактов, т. е. в нашем случае -- результатов экспериментов. Но если говорить о самих атомных частицах, то необходимо или использовать (как дополнение к обычному языку) только математическую схему, или комбинировать ее с языком, который употребляет измененную логику или вообще не пользуется никакой разумно определенной логикой.

В экспериментах с атомными процессами мы имеем дело с вещами и фактами, которые столь же реальны, сколь реальны любые явления повседневной жизни. Но атомы или элементарные частицы реальны не в такой степени. Они образуют скорее мир тенденций или возможностей, чем мир вещей и фактов.