**Критика и контрпредложения в отношении копенгагенской интерпретации квантовой теории**

В. Гейзенберг

Копенгагенская интерпретация квантовой теории далеко увела физиков от простых материалистических воззрений, господствующих в естествознании XIX столетия. Так как эти воззрения были не только самым тесным образом связаны с естествознанием того времени, но и очень обстоятельно проанализированы в некоторых философских системах и благодаря этому очень глубоко проникли в само мышление человечества, то вполне понятно, что было предпринято много попыток подвергнуть копенгагенскую интерпретацию критике и заменить ее другой, более соответствующей представлениям классической физики и материалистической философии.

Эти попытки предпринимаются с позиций, которые можно разделить на три различные группы. Представители первой группы хотя и принимают полностью копенгагенскую интерпретацию экспериментов, по крайней мере поскольку это касается экспериментов, проведенных до настоящего времени, но не удовлетворены используемым при этом языком, то есть лежащей в основе ее философией, и заменяют ее другой. Другими словами: они пытаются изменить философию, не меняя при этом физики. В некоторых работах представителей этой первой группы согласие с копенгагенской интерпретацией ограничивается экспериментальными предсказаниями этой интерпретации относительно всех экспериментов, которые были до сих пор проведены или которые только имеют отношение к обычной физике электронов.

Представители второй группы ясно представляют себе, что копенгагенская интерпретация является единственно приемлемым истолкованием, если экспериментальные данные действительно повсюду согласуются с предсказаниями этой интерпретации. Поэтому в работах этой группы делаются попытки в определенных критических пунктах изменить квантовую теорию.

Наконец, представители третьей группы просто выражают свою общую неудовлетворенность квантовой теорией, не выдвигая при этом определенных контрпредложений, будь они физического или философского характера. К представителям этой группы можно причислить Эйнштейна, Лауэ и Шредингера. Исторически возражения против копенгагенской интерпретации выдвигались прежде всего этой группой.

Все оппоненты квантовой теории едины, однако, в одном пункте. Было бы желательно, по их мнению, возвратиться к представлению о реальности, свойственному классической физике, или, говоря на более общем философском языке, к онтологии материализма, то есть к представлению об объективном, реальном мире, мельчайшие части которого существуют столь же объективным образом, что и камни и деревья, независимо от того, наблюдаем мы их или нет.

Но как разъяснено в одной из предыдущих глав, это невозможно или, во всяком случае, вследствие природы атомных явлений, возможно не полностью. Нашей задачей не может являться высказывание пожеланий относительно того, какими должны быть, собственно говоря, атомные явления. Нашей задачей может быть только понимание их.

Когда разбирают работы представителей первой группы, то важно с самого начала иметь в виду, что толкования, содержащиеся в этих работах, не могут быть опровергнуты экспериментом, так как они ведь только повторяют копенгагенскую интерпретацию на другом языке. Со строго позитивистской точки зрения можно было бы даже сказать, что здесь мы имеем дело совсем не с контрпредложениями, выдвинутыми против копенгагенской интерпретации, а с их точным повторением на другом языке. Поэтому можно только спорить о целесообразности этого языка. Эта группа контрпредложений использует идею "скрытых параметров". Так как законы квантовой теории предсказывают результаты эксперимента, вообще говоря, только статистически, то, основываясь на классической точке зрения, можно было бы предположить, что существуют скрытые параметры, которые, будучи ненаблюдаемы в любом обычном эксперименте, в действительности определяют результат эксперимента, как это всегда считалось ранее в соответствии с принципом причинности. Поэтому в некоторых работах была предпринята попытка изобрести такие параметры внутри рамок квантовой механики.

В этом плане выдвинул, например, свои контрпредложения против копенгагенской интерпретации Бом, идеи которого недавно были до некоторой степени поддержаны также де Бройлем 10. Интерпретация Бома разработана вплоть до деталей. Поэтому она может служить здесь основой обсуждения. Бом рассматривает частицы как объективно существующие структуры, подобно материальным точкам классической механики. Волны в конфигурационном пространстве являются в его интерпретации также "объективно существующими", подобно электрическим полям. Правда, конфигурационное пространство представляет собой пространство многих измерений, относящихся к различным координатам всех принадлежащих систем частиц. В связи с этим возникает первая трудность: что имеют в виду, когда называют волны в конфигурационном пространстве "реально существующими"? Конфигурационное пространство представляет собой очень абстрактное пространство. Слово же "реальное" происходит от латинского слова "res" и означает "предмет", "вещь". Но вещи существуют в обычном, трехмерном, а не в абстрактном конфигурационном пространстве. Рассмотрение волн в конфигурационном пространстве в качестве объективных имело бы оправдание лишь в том случае, если бы мы этим рассмотрением хотели сказать, что эти волны не зависят от наблюдателя Но все же их вряд ли можно назвать действительно существующими, или реальными, если мы только .не хотим произвольно менять значение слов Бом определяет затем линии, пересекающие поверхности постоянной фазы под прямым углом, как возможные траектории частиц. Какая из этих линий окажется действительной траекторией частицы, зависит, по мнению Бома, от истории системы и свойств измерительного прибора, и решить этот вопрос, не зная о системе и измерительном приборе больше того, что фактически может быть известно, нельзя. Эта история (системы и прибора) фактически содержит в таком случае "скрытые параметры", а именно реальную траекторию электрона до того, как эксперимент начался.

Одним из следствий этой интерпретации, как подчеркнул Паули, является то, что электроны многих атомов в стационарном состоянии должны покоиться, что они, стало быть, не должны совершать никаких движений по орбитам вокруг атомного ядра Это кажется на первый взгляд противоречащим эксперименту, так как измерения скоростей электронов в основном состоянии (например, с помощью Комптон-эффекта) всегда дают в итоге некоторое распределение электронов основного состояния по скоростям, которое в соответствии с правилами квантовой механики дается квадратом волновой функции в пространстве скоростей (импульсов). В этом случае, однако, Бом может ответить, что измерение не подлежит больше рассмотрению на основании прежних законов. Поэтому хотя при обычной оценке результата измерения в качестве распределения по скоростям будет получаться квадрат волновой функции в пространстве скоростей (импульсов), но если при рассмотрении измерительной аппаратуры принимать во внимание квантовую теорию и особенно введенные Бомом ad hoc квантово-механические потенциалы, то вывод -- в действительности электроны в стационарном состоянии всегда покоятся -- был бы все-таки допустим. Этому соответствует тот факт, что введенные Бомом в этой связи квантовые потенциалы имеют очень странные свойства: например, они отличны от нуля на любом сколь угодно большом расстоянии. Такой ценой Бом надеется получить возможность утверждать: "Для нас нет необходимости отказываться в области квантовой теории от точного, рационального и объективного описания индивидуальных систем" Но такое объективное описание разоблачает себя при этом как разновидность идеологической надстройки, только в очень малой степени связанной с непосредственной физической реальностью. Ибо ведь скрытые параметры в интерпретации Бома таковы, что они никогда не могут встретиться в описании реальных процессов, поскольку квантовая теория остается неизменной.

Чтобы избежать этой трудности, Бом высказал надежду, что в будущих экспериментах (например, на расстояниях, меньших 10-13 см) скрытые параметры все-таки еще будут иметь физический смысл, и тем самым квантовая теория может оказаться ложной. Бор по поводу высказывания таких надежд обычно говорит" что по структуре они подобны приблизительно такому утверждению: "Можно надеяться, что впоследствии окажется, что в некоторых случаях 2Х2 --5, ибо это было бы выгодно для наших финансов". На самом деле исполнение надежд Бома лишило бы почвы не только квантовую механику, но тем самым и интерпретацию Бома. Конечно, в то же время необходимо подчеркнуть, что приведенная аналогия, хотя она и представляется полной, не является с точки зрения логики неотразимым аргументом против возможного будущего изменения квантовой теории в предлагаемом Бомом направлении. Ибо в принципе можно себе представить, что, например, последующее развитие математической логики может придать определенный смысл утверждению, что в исключительных случаях 2Х2 может быть равно 5 и что в таком случае эта обобщенная математика, возможно, даже будет использоваться для вычислений в области экономики. И все же на основании фактов, не прибегая даже к убедительным логическим аргументам, мы убеждены, что такие изменения в математике ничем не смогут помочь нашим финансам. Поэтому непонятно и то, как могут быть применены для описания физических явлений те математические идеи, на которые Бом указывает как на возможное осуществление своих надежд.

Если отвлечься от этого возможного изменения квантовой теории, то язык Бома, как уже отмечалось, не говорит в отношении физики ничего иного, чем язык копенгагенской интерпретации. В таком случае остается только вопрос о целесообразности этого языка. Наряду с тем, что мы уже отмечали о траекториях частиц, когда рассматривали эти рассуждения как ненужную идеологическую надстройку, следует также отметить, что язык Бома разрушает присущую квантовой теории симметрию координат и скоростей, или, точнее говоря, координат и импульсов. Так как свойства симметрии всегда имеют отношение к сокровеннейшей физической сущности теории, то остается непонятным, что мы выиграем от устранения их в соответствующем языке.

Подобное же возражение в несколько другой форме можно привести и против статистической интерпретации Боппа и несколько отличной от нее интерпретации Феньеша. Бопп принимает в качестве основного квантово-механического процесса возникновение и уничтожение частиц, которые являются реальными в классическом смысле слова, а именно в смысле материалистической онтологии, и законы квантовой механики рассматриваются как особый случай корреляционной статистики, которая здесь применяется к процессам возникновения и порождения частиц. Такая интерпретация может быть проведена, как показал Бопп, без противоречий, и она проливает свет на интересные связи между квантовой теорией и корреляционной статистикой. С физической точки зрения она ведет к тем же самым выводам, что и копенгагенская интерпретация. В позитивистском смысле она, следовательно, опять же изоморфна этой интерпретации, так же как и интерпретация Бома. Однако в ее языке нарушается симметрия волн и частиц, являющаяся обычно особенно характерной чертой математической схемы квантовой теории. Уже в 1928 году Иордан, Клейн и Вигнер показали, что эта математическая схема может быть истолкована не только как квантование движения частиц, но и как квантование трехмерных материальных волн. Нет, следовательно, основания считать волны материи менее реальными, чем частицы. Симметрия волн и частиц могла бы в интерпретации Боппа сохраниться, пожалуй, в том случае, если бы соответствующая корреляционная статистика была развита и в применении к материальным волнам в пространстве и времени и если бы, таким образом, можно было оставить открытым вопрос о том, частицы или волны следует считать настоящей реальностью11.

Предположение о реальном в смысле материалистической онтологии существовании частиц всегда необходимо ведет к попыткам считать, что по крайней мере в принципе возможны отклонения от соотношения неопределенностей. Например, Феньеш утверждает, что существование соотношения неопределенностей, которое он также связывает с определенными статистическими соотношениями, никоим образом не исключает возможность одновременного и сколь угодно точного измерения координат и скорости. Однако Феньеш не указывает, как такие измерения должны практически выглядеть, и поэтому его соображения, по-видимому, остаются абстрактно-математическими.

Вейцель, предложения которого родственны предложениям Бома и Феньеша, связывает искомые скрытые параметры с новым, придуманным ad hoc сортом частиц, зеронами, которые никаким способом невозможно наблюдать. Представление такого рода таит в себе опасность, что взаимодействие реальных частиц с зеронами приведет к рассеянию энергии по большому числу степеней свободы поля зеро-нов, так что вся термодинамика превратится в хаос. Вейцель не объяснил, как он сможет преодолеть эту опасность.

Точку зрения, из которой исходили в критике копенгагенской интерпретации все группы рассмотренных до сих пор физиков, вероятно, можно лучше всего охарактеризовать, если вспомнить дискуссию, посвященную специальной теории относительности. Те, кто не был удовлетворен устранением Эйнштейном абсолютного пространства и абсолютного времени, могли аргументировать примерно следующим образом. Специальная теория относительности никоим образом не доказала, что не существует абсолютное пространство и абсолютное время. Она только показала, что истинное пространство и истинное время во всех обычных экспериментах себя не проявляют. Но если правильно учесть соответствующие законы природы и таким образом ввести для движущихся систем координат правильные кажущиеся времена, то ничто не будет говорить против предположения об абсолютном пространстве. Было бы даже правдоподобно предположить, что центр тяжести нашей Галактики (по крайней мере приближенно) покоится в абсолютном пространстве. Критик специальной теории относительности мог еще добавить, что можно надеяться, что в будущем измерения сделают определение абсолютного пространства, так сказать "скрытого параметра" теории относительности, возможным и тем самым теория относительности будет опровергнута.

Эту аргументацию нельзя, как это сразу видно, опровергнуть экспериментально, так как при этом не делается никаких утверждений, отличающихся от утверждений специальной теории относительности. Но такая интерпретация теории относительности нарушала бы, по крайней мере на применяемом языке, как раз важнейшее свойство симметрии теории относительности, а именно инвариантность относительно преобразований Лоренца, и поэтому ее следует считать неприемлемой.

Аналогия обсуждений специальной теории относительности с обсуждениями квантовой теории очевидна. Законы квантовой механики таковы, что введенные ad hoc скрытые параметры никогда нельзя будет наблюдать. Кроме того, важнейшие свойства симметрии были бы нарушены, если бы мы ввели в интерпретацию теории скрытые параметры в качестве фиктивных величин.

Возражения, которые содержатся в работах Блохинцева и Александрова, по самой постановке довольно отличны от обсужденных выше. Эти возражения с самого начала ограничиваются исключительно философской стороной вопроса. В физическом плане Блохинцев и Александров без всяких оговорок соглашаются с копенгагенской интерпретацией. Тем более резкими оказываются внешние формы полемики: "Среди самых разнообразных идеалистических направлений в современной физике так называемая "копенгагенская школа" -- наиболее реакционная. Разоблачению идеалистических и агностических спекуляций этой школы вокруг коренных проблем квантовой механики и посвящена данная статья", -- пишет Блохинцев во введении к одной из своих статей. Резкость полемики показывает, что здесь идет речь не только о науке, но и о веровании. Цель критики высказана в заключение статьи цитатой из сочинения Ленина: "Как ни диковинно с точки зрения "здравого смысла" превращение невесомого эфира в весомую материю и обратно, как ни "странно" отсутствие у электрона всякой иной массы, кроме электромагнитной, как ни необычно ограничение механических законов движения одной только областью явлений природы и подчинение их более глубоким законам электромагнитных явлений и т. д. -- все это только лишнее подтверждение диалектического материализма" 12. Хотя, стало быть, предпосылки работ Блохинцева и Александрова лежат вне области естествознания, все же обсуждение их аргументов весьма поучительно.

В данном случае главная задача заключается в спасении материалистической онтологии, поэтому атакам подвергается прежде всего введение в интерпретацию квантовой теории наблюдателя. Александров пишет: "Поэтому под результатом измерения в квантовой механике нужно понимать объективный эффект взаимодействия электрона с подходящим объектом. Разговоры о наблюдателе нужно исключить и иметь дело с объективными условиями и объективными эффектами. Физическая величина есть объективная характеристика явления, а не результат наблюдения". Волновая функция характеризует, согласно Александрову, объективное состояние электрона.

В своем изложении Александров упускает, что взаимодействие системы с измерительным прибором в том случае, когда прибор и система считаются изолированными от остального мира и в целом рассматриваются в соответствии с квантовой механикой, как правило, не ведет к определенному результату (например, к почернению фотопластинки в определенной точке). Когда против этих заключений выдвигают утверждение: "Но в действительности пластинка после взаимодействия все-таки почернела в определенном месте", то тем самым от квантово-механического рассмотрения изолированной системы, состоящей из электрона и пластинки, отказываются. В этом заключается фактический характер события, которое может быть описано с помощью понятий повседневной жизни, в математическом формализме квантовой теории непосредственно не содержится и в копенгагенскую интерпретацию входит благодаря введению представления о наблюдателе. Конечно, не следует понимать введение наблюдателя неправильно, в смысле внесения в описание природы каких-то субъективных черт. Наблюдатель выполняет скорее функции регистрирующего "устройства", то есть регистрирует процессы в пространстве и времени; причем дело не в том, является ли наблюдатель аппаратом или живым существом; но регистрация, то есть переход от возможного к действительному, в данном случае, безусловно, необходима и не может быть исключена из интерпретации квантовой теории. В этом пункте квантовая теория самым тесным образом связана с термодинамикой, поскольку всякий акт наблюдения по всей своей природе является необратимым процессом. Только посредством таких необратимых процессов формализм квантовой теории может быть непротиворечивым образом связан с действительными процессами в пространстве и времени. С другой стороны, необратимость, если ее снова перевести на язык математического изображения событий, является следствием неполноты знаний, которые наблюдатель имеет о системе, и поэтому не является все-таки чем-то вполне объективным.

Формулировки Блохинцева несколько иные, чем Александрова. "В квантовой механике состояние частицы характеризуется действительно не "само по себе", а принадлежностью частицы тому или иному ансамблю (смешанному или чистому). Эта принадлежность имеет совершенно объективный характер и не зависит от сведений наблюдателя". Такие формулировки уводят на самом деле уж очень далеко (даже слишком далеко) от онтологии материализма. Дело в том, что, например, в классической термодинамике положение иное. При определении температуры системы наблюдатель подразумевает, что система представляет собой только один образец, выбранный из канонического ансамбля, и он, следовательно, может считать, что система, по-видимому, обладает различными энергиями. Однако в действительности система имеет в классической физике в определенный момент времени только определенное значение энергии, все другие значения не реализуются. Наблюдатель, следовательно, впадет в ошибку, если будет считать возможным, что в данный момент существует другое значение энергии. Отсюда канонический ансамбль содержит высказывания не только о самой системе, но и о неполноте сведений наблюдателя о системе. Когда Блохинцев пытается в квантовой теории считать принадлежность системы к ансамблю чем-то вполне объективным, он употребляет слово "объективный" в смысле, отличающемся от употребления его в классической физике, ибо в ней эта принадлежность означает, как уже было отмечено, высказывание не только о системе, но и о степени знания системы наблюдателем. При рассмотрении квантовой теории необходимо кратко упомянуть об одном исключении. Если ансамбль характеризуется в квантовой теории только единственной волновой функцией в конфигурационном пространстве (а не как обычно -- статистической матрицей), то создается особая ситуация (так называемый "чистый случай"), в котором описание может быть названо в известном смысле объективным и в котором элемент неполного знания непосредственно не обнаруживается. Но так как всякое измерение (из-за связанных с ним необратимых процессов) снова вводит потом элемент неполного знания, то и эта ситуация "чистого случая" все-таки не отличается принципиально от другого, ранее обсужденного более общего случая.

Из всего рассмотренного выше прежде всего видно, как трудно втиснуть новые идеи в старую систему понятий предшествующей философии, или, употребляя старинное выражение, как трудно наполнить новым вином старые меха. Такие попытки всегда неприятны, потому что заставляют снова и снова заниматься латанием неизбежных дыр в старых мехах, вместо того чтобы наслаждаться новым вином. С точки зрения здравого смысла нельзя ожидать, что мыслители, создавшие диалектический материализм более ста лет назад, могли предвидеть развитие квантовой теории. Их представления о материи и реальности не могут быть приспособлены к результатам нашей сегодняшней утонченной экспериментальной техники.

Здесь, пожалуй, следует сделать дополнительно несколько замечаний о позиции естествоиспытателя в отношении определенного мировоззрения. При этом безразлично, о религиозном или политическом мировоззрении идет речь. Принципиальное различие религиозного и политического мировоззрений, заключающееся в том, что последнее имеет отношение к непосредственной материальной реальности мира вокруг нас, в то время как первое имеет объектом другую реальность, лежащую по ту сторону материального мира, в данной постановке проблемы несущественно. Здесь следует обсудить проблему самой веры. Из того, что было до сих пор сказано, следует вывод, что ученый никогда не должен полагаться на какое-то единственное учение, никогда не должен ограничивать методы своего мышления одной-единственной философией. Ученый должен быть готов к тому, что благодаря новым экспериментальным данным могут быть изменены и самые основы его знания. Но это требование по двум соображениям снова представляло бы собой слишком большое упрощение нашего положения в жизни.

Первое соображение состоит в том, что весь образ нашего мышления формируется в нашей юности, благодаря тем идеям, с которыми мы в это время сталкиваемся, или благодаря тому, что мы вступаем в контакт с выдающимися личностями, у которых мы учимся. Этот образ мышления будет оказывать решающее влияние на всю нашу последующую работу, и вследствие этого вполне возможны затруднения в процессе приспособления к совершенно другим идеям и системам мышления. Второе соображение состоит в том, что мы всегда принадлежим некоему обществу или общности. Эту общность связывают воедино общие идеи, общий критерий моральных ценностей или общий язык, на котором говорят о всеобщих проблемах жизни. Эти общие идеи могут поддерживаться авторитетом церкви, партии или государства, и даже если это не будет иметь место, все равно очень трудно отойти от общепринятых идей, не противопоставляя себя обществу. Но результаты научных размышлений могут противоречить некоторым из общепринятых идей. Без сомнения, было бы неразумно требовать, чтобы ученый вообще не был лояльным членом общества, чтобы он принципиально отказался от всех благ, которые можно получить, принадлежа коллективу, и было бы столь же неразумно желать, чтобы общие идеи коллектива или общества, которые с научной точки зрения всегда необходимо являются упрощением, следует менять сразу же вслед за очередным успехом научного познания, что эти общие идеи должны быть, следовательно, такими же изменчивыми, как и научные теории. Поэтому и в наше время мы снова приходим к старой проблеме двойственности истины, которая неоднократно возникала в истории христианской религии в эпоху позднего средневековья. В то время появилось весьма спорное учение о том, что положительная религия независимо от того, какую форму она может принять, является для огромного большинства людей потребностью, в то время как ученый ищет собственно истину по ту сторону религии и может найти ее только там.

Наука является эзотерическим учением, -- так было сказано, -- она предназначена только для немногих. В наше время функции положительной религии в некоторых странах взяли на себя политические учения и общественные организации, но проблема, в сущности, осталась той же. Первым требованием в отношении ученого должно всегда оставаться требование интеллектуальной честности, в то время как общество часто будет просить ученого, вследствие изменчивости науки, подождать по крайней мере несколько десятилетий, прежде чем публично высказывать свое расходящееся с общепринятым мнение. Простого решения этой проблемы -- если одной терпимости недостаточно, -- вероятно, нет. Но, пожалуй, можно находить некоторое утешение в том факте, что здесь речь идет, несомненно, о довольно старой проблеме, относящейся к жизни человека во все времена.

Теперь снова возвратимся к контрпредложениям копенгагенской интерпретации квантовой теории и рассмотрим при этом контрпредложения представителей второй группы. В этих контрпредложениях попытка построения иной философской интерпретации связана даже со стремлением изменить квантовую теорию. Добросовестная попытка в этом направлении предпринята Яноши, который осознал, что предположение о строгой справедливости квантовой механики заставляет нас отойти от представлений о реальности классической физики. Он поэтому пытается так изменить квантовую механику, чтобы многие ее результаты оставались в силе, но ее структура приближалась к структуре классической физики. Направлением своей атаки он избрал так называемую редукцию волнового пакета, то есть тот факт, что описывающая систему волновая функция в момент, когда наблюдателю становится известным результат наблюдения, меняется скачком. Яноши констатирует, что эта редукция не может быть выведена из уравнения Шредингера, и полагает, что отсюда можно заключить о наличии непоследовательности "ортодоксальной" интерпретации. Как известно, редукция волнового пакета появляется в копенгагенской интерпретации всегда в тех случаях (на языке формализма -- всегда для "статистической смеси" состояний) , когда завершается переход от возможного к действительному, то есть когда действительное выбирается из возможного, что, согласно обычному описанию, делает наблюдатель. В основе этого лежит предположение, что интерференционные члены частично погашаются вследствие неконтролируемых взаимодействий измерительного прибора с системой и остальным миром (на языке формализма -- взаимодействие "приготовляет" смесь). Яноши пытается в этом пункте, вводя затухание, так изменить квантовую механику, чтобы интерференционные члены по истечении конечного времени исчезали сами по себе. Даже если бы это соответствовало действительности, -- а все проведенные доныне эксперименты не дают для этого никаких оснований, -- то при такой интерпретации, как отмечает сам Яноши, остался бы еще ряд нежелательных следствий (например, волны, распространяющиеся быстрее скорости света, изменение временной последовательности причины и следствия для движущегося наблюдателя, то есть выделение определенных систем отсчета и т. д.). Поэтому мы вряд ли согласимся пожертвовать простотой квантовой теории ради такого рода представлений, пока нас не принудит к этому эксперимент.

Среди других оппонентов "ортодоксальной" интерпретации квантовой теории Шредингер занимает в определенном смысле исключительную позицию, поскольку он хотел бы приписывать объективную реальность не частицам, а волнам и не согласен интерпретировать волны только как волны вероятности. В своей работе "Существуют ли квантовые скачки?" он пытается вообще отвергнуть квантовые скачки. Но в работе Шредингера прежде всего содержится некоторое непонимание обычной интерпретации. Он упускает из виду, что волнами вероятности в обычной интерпретации являются только волны в конфигурационном пространстве -- то, что на языке математики можно назвать матрицами преобразования, -- а не трехмерные волны материи или излучения. Последние объективно реальны в столь же большой и в столь же малой степени, что и частицы, хотя они не имеют непосредственно никакого отношения к волнам вероятности, но обладают, подобно максвелловскому полю, непрерывной плотностью энергии и импульса. Конечно, Шредингер правильно подчеркивает, что эти процессы можно считать более непрерывными, чем это делается в большинстве случаев. Однако Шредингер не может этим устранить из мира элемент прерывности, который в атомной физике обнаруживается повсюду, например очень наглядно -- на сцинтилляционном экране. В обычной интерпретации квантовой теории этот элемент содержится в переходе от возможного к действительному. Сам Шредингер не делает никаких контрпредложений относительно того, как он представляет себе, например, введение всюду наблюдаемого элемента прерывности иначе, чем это делается в обычной интерпретации.

Наконец, критика, которая содержится в различных работах Эйнштейна, Лауэ и других, сосредоточивается вокруг вопроса о том, дает ли копенгагенская интерпретация возможность однозначного, объективного описания физических фактов. Ее наиболее важные аргументы могут быть выражены примерно в следующей форме. Математическая схема квантовой теории кажется вполне достаточным описанием статистики атомных явлений. Но, даже если ее утверждения относительно вероятностей атомных процессов вполне правильны, эта интерпретация все-таки не дает никакого описания того, что происходит на самом деле, независимо от наблюдений или между нашими наблюдениями. Что-нибудь должно ведь, однако, происходить -- в этом мы можем не сомневаться. Это "что-нибудь" может быть, и нельзя описать с помощью -понятий электрона, или волны, или светового кванта, но, поскольку оно не описывается каким-либо образом, задача физики еще не выполнена. Нельзя допустить, что квантовая физика относится только к акту наблюдения. Физик должен предполагать в своей науке, что он изучает мир, который создал не он сам и который существовал бы также и без него и в основном точно таким же. Поэтому копенгагенская интерпретация не дает никакого действительного понимания атомных процессов.

Легко видеть, что эта критика требует просто возврата к старой материалистической онтологии. Что же можно ответить на эту критику с точки зрения копенгагенской интерпретации?

Можно сказать, что физика является частью естествознания и в этом качестве должна стремиться к описанию и пониманию природы. Однако понимание любого рода, будь оно научным или нет, зависит от нашего языка, от того, что мы можем передавать наши мысли. Всякое описание явлений, опытов и их результатов также основывается на языке как на единственном средстве понимания. Слова этого языка выражают понятия повседневной жизни, которые в научном языке физики могут быть уточнены до понятий классической физики. Эти понятия представляют собой единственное средство однозначной передачи сообщений о процессах, расположении приборов в опытах и их результатах. Поэтому когда физика-атомника просят дать описание того, что реально происходит в его опытах, то слова "описание", "реальность" и "происходит" могут относиться только к понятиям повседневной жизни или классической физики. Как только физик попытался бы отказаться от этой базы, он потерял бы возможность однозначно объясняться и не смог бы развивать свою науку далее. Поэтому всякое высказывание о том, что на самом деле происходит или произошло, является высказыванием, использующим понятия классической физики. Оно по самой своей природе вследствие законов термодинамики и соотношения неопределенностей оказывается неполным в отношении тех деталей атомных процессов, о которых в данном случае идет речь. Требование, что следует описывать и то, что в квантово-механическом процессе происходит в промежутке между двумя следующими друг за другом наблюдениями, является contradictio in adjecto, так как слово "описывать" имеет отношение только к применению классических понятий, тогда как эти понятия не могут быть применены в промежутках между двумя наблюдениями. Они могут применяться только в момент наблюдения.

Необходимо также подчеркнуть, что копенгагенская интерпретация квантовой теории никоим образом не является позитивистской. В то время как позитивизм исходит из чувственных восприятий элементов бытия, копенгагенская интерпретация рассматривает описываемые в классических понятиях объекты и процессы, то есть фактическое, в качестве основы всякого физического объяснения. Вместе с тем признается также, что статистичность природы законов микрофизики устранена быть не может, так как всякое знание "фактического" в силу квантово-механических законов природы является знанием неполным.

Онтология материализма основывалась на иллюзии, что в атомную область можно экстраполировать способ существования, непосредственно данное окружающего нас мира. Но эта экстраполяция невозможна.

Можно было бы добавить еще некоторые замечания относительно формальной структуры контрпредложений в отношении копенгагенской интерпретации. Все выдвинутые до сих пор контрпредложения в отношении копенгагенской интерпретации заставляют жертвовать существенными свойствами симметрии квантовой теории. Поэтому вполне можно предположить, что копенгагенская интерпретация является необходимой, если эти свойства симметрии, подобно свойству инвариантности относительно преобразований Лоренца, считать существенными свойствами природы. В пользу этого говорят и все проведенные до сих пор эксперименты.