

подчинены лишь весьма общему условию, чтобы сумма ряда

$$c(k_s, l^*) = \sum_{\mu=1}^{\infty} c(k_s, n_{\mu}) \varphi(n_{\mu}, l^*)$$

имела заданный модуль. Таким образом, здесь получается прямое противоречие.

Дальнейшие противоречия получаются у Никольского, когда он начинает рассматривать совместно операторы для двух величин K и R . Согласно его определению, K есть один из бесчисленного множества операторов, обладающих данными диагональными элементами матрицы $(I^*|K|I^*)$. Аналогично, R есть один из бесчисленного множества других операторов. Так как эти операторы выхвачены наудачу среди бесчисленного множества равноправных, то не может быть никакой речи о том, чтобы из их определения вытекали какие-либо определенные «взаимные свойства», например, коммутативность или некоммутативность этих операторов. Поэтому все рассуждения Никольского, относящиеся к вычислению средних квадратических отклонений, лишены всякого логического основания.

Мы разобрали подробно § 3 статьи К. В. Никольского, содержащий ее основные идеи. Мы убедились в том, что, хотя в квантовой механике встречаются формулы, аналогичные формулам Никольского, но они там вытекают из основных предположений о волновых функциях и операторах. В статье же Никольского эти формулы абсолютно не обоснованы. Но если мы их примем хотя бы в качестве постулатов, то в них уже будут содержаться все основные гипотезы квантовой механики. Между тем Никольский полагает, что его формулы не зависят от этих гипотез и представляют независимый от физики статистический метод (стр. 541). В этом состоит дальнейшее заблуждение К. В. Никольского.

В результате, у читателя статьи К. В. Никольского получается впечатление, будто квантовая механика есть только род статистики. Между тем важнейшим достижением современной физики следует признать именно то, что она научилась наблюдать элементарные физические процессы, отдельные частицы. Квантовая механика дает формулировку тех законов, которыми эти элементарные процессы подчиняются. На языке квантовой механики может быть записан результат единичного измерения. Поэтому, хотя даваемые квантовой механикой прогнозы имеют в общем случае статистический характер, не следует забывать, что квантовая механика отнюдь не сводится к статистике.

Ответ В. А. Фоку

К. В. Никольский, Москва

Критические замечания В. А. Фока о моей статье „Принципы квантовой механики I“ дают мне повод сделать некоторые разъяснения относительно слагающейся ситуации. Мне думается, что это принесет большую пользу советской теоретической физике.

В развитии современной теоретической физики очень большое значение имеет квантовая механика, имеющая громадные достижения при решении различных специальных задач атомной физики. У нас в Союзе имеются физики-теоретики, занимающиеся квантовой механикой. Квантовая механика уже преподается в вузах, как отдельная дисциплина. Но, несмотря на протекшие десять лет со времени ее возникновения, квантовая механика до сих пор не имеет твердо установленных принципов. В вопросе о ее принципах существуют значительные разногласия. Так, отмечу, что Нильс Бор и его последователи, в частности В. Гейзенберг, занимают

одну позицию; Эрвин Шредингер, один из основателей квантовой механики, — другую; Альберт Эйнштейн — третью и т. д. Для дальнейшего существенно отметить точку зрения Н. Бора и В. Гейзенберга, возглавляющих так называемую „копенгагенскую школу квантовой механики“. Это существенно по той причине, что у нас в Союзе существует, как бы „филиал“ этой школы, несмотря на то, что концепция квантовой механики, развиваемая Н. Бором, совершенно несовместна с прогрессивным направлением теоретической физики, являясь последовательно проводимой идеалистической, а именно махистской концепцией. Эта концепция весьма упорно и последовательно защищается у нас М. П. Бронштейном (Ленинград), Л. Д. Ландау (Харьков), И. Е. Таммом (Москва) и В. А. Фоком (Ленинград). * Так как эти лица не защищают открыто проводимые ими взгляды Н. Бора, а маскируют их „под материализм“, то целесообразно изложить вкратце сущность этих взглядов.

Для материалистического описания какого-либо явления характерно, что оно, — явление, — объективируется в пространстве и времени совершенно независимо от какого бы то ни было наблюдателя этого явления. Соответственно, всякая материалистическая физическая теория должна удовлетворять этому требованию. Квантовая механика, в боровском ее понимании, этому требованию не удовлетворяет и потому (в противность утверждению упомянутых лиц), не может быть признана окончательной физической теорией, даже и в нерелятивистской области. Концепция квантовой механики, развиваемая Н. Бором (а у нас перечисленными его последователями), имеет следующие характерные черты.

Создавая в 1925 г. квантовую маханику, В. Гейзенберг реализовал совершенно определенную программу, специфические ограничив круг проблем, которые могут быть поставлены в рамках квантовой механики. А именно, квантовая механика заведомо строится так, что всегда во всех проблемах мыслится непременно присутствующим макроскопический наблюдатель, стоящий вне процесса. Именно вследствие такой постановки всех задач квантовой механики и только потому появляется знаменитый „принцип неопределенности“ Гейзенберга и связанная с ним неопределенность фазы волновой функции.

Для этого принципа крайне существенно то, что всякая квантовая задача заранее ставится в такой форме, что рассматривается взаимодействие между квантовой частицей и неквантовым макроскопическим телом, связанным с наблюдателем. Вот как формулирует это положение вещей В. Гейзенберг **:

„В то время как в классической теории способ наблюдения был не существенен для течения процесса, в квантовой теории возмущение, с которым связано каждое наблюдение атомных явлений, играет решающую роль“. И далее, „то обстоятельство, что часть этого возмущения остается принципиально неизвестной, покоится, согласно Бору, в конце концов, на неопределенности, которая вносится самим понятием измерения. Действительно, экспериментальное описание каких бы то ни было пространственно-временных процессов всегда предполагает некоторую твердую систему (например, координатную систему, в которой покоится наблюдатель), относительно которой и производятся все измерения. Допуская, что эта система является „твердой“, мы тем самым отказываемся заранее от знания ее импульса, так как понятие „твердой“ как раз и означает, что какие бы то ни было изменения импульса системы при взаимодействии с ней не должны иметь места. Принципиально необходимая неопределенность, допущенная в этом месте, распростра-

* Причем утверждается, что иной точки зрения нет. Так например, излагая дискуссию Эйнштейна — Бора в Успехах физических наук, В. А. Фок умолчал об ответе Эйнштейна (*примечание при корректуре*).

** См. „Современная квантовая механика“ Нобелевские речи Гейзенберга, Шредингера, Дирака, статья Гейзенберга (русск. перевод).

няется затем дальше через измерительный аппарат на атомные процессы" (стр. 29—30) (всюду подчеркнуто мною, *К. Н.*). Далее, пространственно-временная локализация объекта считается связанной с наличием субъекта, изучающего это явление. Соответственно этому, во всякой квантовой задаче фигурирует макроскопический наблюдатель, потому что, как пишет В. Гейзенберг, "поведение наблюдателя и его измерительного прибора должно поэтому анализироваться по законам классической физики, ибо в противном случае вообще не имела бы места никакая физическая проблема" (стр. 30). Так как предположено, что этот наблюдатель никогда не устраняется, то, по Гейзенбергу: "классическая физика, как раз и кончается в том месте, где нельзя уже отказаться от учета влияния наблюдения на исследуемые процессы. Квантовая механика, наоборот, покупает возможность рассмотрения атомных процессов путем частичного отказа от их описания в пространстве и времени и их объективирования" (там же, стр. 32, подчеркнуто мною, *К. Н.*).

Соответственно этому В. Гейзенберг и говорит, что "в квантовой механике вовсе не идет речь об объективном установлении пространственно-временных событий" (стр. 27).

Для концепции квантовой механики, развиваемой Н. Бором и его последователями, характерно еще следующее. Согласно Н. Бору, квантовая механика имеет дело не только со статистическими проблемами, как это считает, например, А. Эйнштейн, а с индивидуальными, элементарными процессами. (Ср. замечание в конце возражения В. А. Фока.) Рассматривая квантовую механику с этой точки зрения, Н. Бор видит в ней своеобразную "теорию дополненности", основанную на принципе неопределенности Гейзенберга. По Н. Бору, всякое описание физических событий, осуществляясь всегда по принципу неопределенности, формулируется либо тем, что измерены координаты частиц, т. е. их местоположение в пространстве и времени, либо тем, что определены их импульсы и энергия. По принципу Гейзенберга одно исключает другое. Н. Бор видит в принципе Гейзенберга не статистическое суждение, выработанное для фиктивного, среднего статистического экземпляра квантовой частицы, а анализ отдельного индивидуального квантового процесса измерения*. Эта точка зрения ведет к очень тяжелым следствиям. Именно, получается, что местоположение или импульс не только не могут быть измерены рассматриваемыми процессами, а также, что эти понятия в соответствующих случаях просто бессмысленны. А именно, по Н. Бору следует, что, если квантовая система находится в состоянии с заданной энергией и импульсом (а таковой будет всякая изолированная квантовая система), то к ней неприменимы понятия пространственно-временной локализации. (Вспомним, что вед с этой точки зрения "пространственно-временная локализация связана с субъектом, наблюдающим явление".) Н. Бор прямо указывает в своих статьях, что мы должны считать в этих случаях, что, если наш объект существует независимо от нас, то он существует вне пространства и времени. (см., например, у В. Гейзенберга в его книге "Физические принципы квантовой теории" поучительную таблицу, в которой имеется графа, характеризующая существо квантовой механики изолированной системы как "математической схемы вне пространства и времени").

С этими вопросами, т. е. с признанием вещей вне пространства и времени, непосредственно связано представление о том, что квантовая механика законченная (в нерелятивистской области) дисциплина и что физика навсегда связана с необходимостью пользоваться классическими понятиями и что мы тем самым приходим к пределу разумного описания природы.

Так, например, говорит П. А. М. Дирак во втором издании своего курса квантовой механики (Ленинград, перевод под редакцией М. П. Бронштейна). Н. Бор говорит по этому поводу об "иррациональности", присущей квантовой механике. И поистине "иррациональность" такой точки зрения столь велика, что я не встретил ни одного физика-экспериментатора, который защищал бы точку зрения копенгагенской школы. Однако

* См. конец возражения В. А. Фока.

авторитет нашего „филиала“ столь велик, что заставляет считаться именно с этой точкой зрения и только с ней, чем чрезвычайно тормозится развитие нашей науки. Отмечу, например, что преподавание квантовой механики в Москве, Ленинграде и Харькове определяется именно этими лицами равно как и допущение к печати работ по квантовой механике. Ситуация только что обрисованная, осложняется еще тем, что взгляды Н. Бора преподносятся в весьма замаскированном виде (см. в особенности статьи М. П. Бронштейна и, например, статью Л. Д. Ландау, помещенную летом с. г. в „Известиях“), что ведет к чрезвычайной путанице и совершенно дезориентирует физиков-экспериментаторов. Группа играющих руководящую роль физиков-теоретиков, вместо того, чтобы возглавить советскую экспериментальную физику и, критически пересмотрев имеющиеся теории, создать новые действительно прогрессивные, занимается рабским, жалким копированием совершенно чуждых взглядов. Более того, в последнее время мы видим целый ряд активных выступлений, популяризирующих и защищающих эту позицию (в особенности выступления В. А. Фока). Чем скорее советские физики раскроют истинное значение их позиции, ее реакционность для современного этапа развития физики, тем больше будет пользы для дела создания нашей материалистической теоретической физики. Это дело всей физической общественности. Дело обмена мнениями. Можно смело утверждать, что у нас найдутся настоящие теоретики, которые создадут настоящую материалистическую теорию атомных явлений. Ведь, если где и может сейчас создаваться такая, так это только у нас в Союзе. Замечу, наконец, что ситуация, только что обрисованная уже начала выясняться на мартовской сессии Академии наук СССР, посвященной проблемам физики. Однако авторитет и положение „копенгагенского филиала“ не были поколеблены, так как аргументация ряда выступавших товарищей исходила из кругов не компетентных в вопросах квантовой механики.

В упомянутой вначале моей статье я попытался ясно сформулировать современную концепцию квантовой механики, наметив, вместе с тем, возможность иного, чем боровское, понимания ее основ. Не удивительно, что эта попытка может встретить лишь резко отрицательное отношение со стороны вышеупомянутых лиц, как представителей совершенно последовательно проводимой концепции. Замечания В. А. Фока и имеют целью сделать невозможным дальнейшее развитие статистической концепции квантовой механики, расчищая вместе с тем дорогу его (т. е. боровским) взглядам.

Рассмотрим замечания, сделанные В. А. Фоком.

1. В. А. Фок утверждает, что моя задача — „построить квантовую механику целиком на основе статистики и вывести квантово-механический аппарат, рассматривая исключительно вероятности и средние“. Это утверждение искажает содержание моей статьи. Такая задача не представляет интереса. В своей статье я утверждаю следующее. Квантовая механика — принципиально статистическая теория, не имеющая дела непосредственно с индивидуальными квантовыми явлениями. В противном случае, мы должны будем встать на совершенно неприемлемую точку зрения Н. Бора, выражаемую „принципом дополнителности“. В квантовом принципе суперпозиции состояний обычно видят выражение возможности внепространственно-временного бытия квантовой частицы (или, как говорят „состояния, когда частица не имеет определенной координаты или какой-либо иной величины“). Это я считаю неверным, видя в квантовом принципе суперпозиции лишь сужение о свойствах среднего фиктивного квантового экземпляра частицы. Дело обстоит, с моей точки зрения, следующим образом. Производится анализ статистической совокупности из определенного процесса взаимодействия квантовых частиц и макроскопического тела, которое ставится всякий раз, при повторении реакции в условиях, одинаковые лишь „с точностью до кванта действия“. На основании серии таких индивидуальных процессов устанавливается понятие о фиктивном среднем процессе, и именно такой средний фиктивный процесс и имеется в виду в принципе неопределенности, не имеющем отношения к реальному, инди-

видуальному процессу, хотя бы уже потому, что основная формула $\epsilon = \hbar \nu$ реализуется физически лишь статистически и бессмысленна для отдельного акта, так же как всякая другая формула, в которую входит постоянная Планка $\hbar$. Квантовая механика и является теорией свойств такого „среднего, фиктивного представителя“ квантовых частиц и притом лишь тех их свойств, которые проявляются во взаимодействии с участием макроскопических тел. Теория индивидуального процесса, равно как задача о том, „как ведут себя квантовые частицы, когда на них не смотрит макроскопический наблюдатель“, остаются до сих пор неразрешенными задачами. Это — основная проблема всей современной теоретической физики и величайшая ошибка представлять себе дело так, как будто бы эта проблема не имеет права на существование, и квантовая механика — уже законченная дисциплина. Квантовая механика даже и не поставила так задачу. Она не более как весьма искусственный, обходный путь для решения некоторых проблем атомной физики.

Точка зрения на квантовую механику как на статистическую дисциплину, неполно описывающую атомные процессы, развиваемая в моей статье, примыкает к взглядам А. Эйнштейна, высказанным им в недавней дискуссии его с Н. Бором о физической реальности.

В соответствии со сказанным, мною выделяется в часть, не зависящую от индивидуальных явлений, вся часть квантовой механики, содержащаяся в § 3, а именно квантовый принцип суперпозиции (формула на стр. 84б, строка 6 и т. д.) и операторная метода. Однако вместе с тем подчеркивается, что квантовая статистическая метода есть специальная квантовая метода, преследующая анализ атомизма действия. Это выражается уже и заглавием 3-го параграфа. Особенность ее в том, что все задачи ставятся совершенно своеобразно, а именно всякий квантовый процесс обязательно рассматривается по отношению к макроскопическому наблюдателю. Математически эта методическая особенность и выражается неопределенностью фазы и квантовым принципом суперпозиции. (Поскольку тип операторов не определен, мы имеем дело лишь с методом.) Именно отсюда и идут все затруднения, возникающие в боровской концепции квантовой механики. Разумеется, эти затруднения, отмеченные выше, видит лишь физик-материалист. Идеалистическая махистская школа будет утверждать, что все „законченно“ и обстоит как нельзя лучше*.

Итак, приписав мне упомянутое утверждение, В. А. Фок ставит и естественную задачу о фазах, а далее рассматривает всю работу с этой, заведомо не соответствующей работе, точки зрения.

2. Вопрос о введении волновых функций. Я вовсе не утверждаю, что формула $w_{l*}(k_s) = |C_{l*}(k_s)|^2$ определяет волновые функции. Это и говорится дальше. Волновую функцию наиболее целесообразно ввести в рассмотрение таким образом, а затем уже формулировать их свойства обычным квантовым принципом суперпозиции, что я и делаю на стр. 54б, считая последний методическим приемом квантовой механики. В. А. Фок отмечает все же, что, „если понимать цитированные слова К. В. Никольского в том смысле, что он хочет выразить параметрически через вспомогательные (волновые) функции, то перед ним встает задача вывода и исследования свойств этих вспомогательных функций. Но эта задача равно-

* Любопытно отметить защиту теории Н. Бора „от материализма“, высказанную М. П. Бронштейном в одной из его статей в „Природе“. Автор рассуждает так: принцип неопределенности говорит, что мы никогда не сможем измерить координату электрона, а потому и является „худшим видом идеализма“ признать возможность существования электрона в пространстве, независимо от измерения. Автор „не замечает“, что все дело в том, что задача с самого начала ставится по-махистски: говорится всегда только об электроне + макроскопический наблюдатель. Проблема электрон + электрон, например, независимо от макроскопического наблюдателя, производящего измерения в рамках существующей методы квантовой механики, мыслима лишь как статистическая проблема, т. е. как неполное решение задачи.

сильна независимому постулированию Гильбертова пространства и всего аппарата квантовой механики, т. е. как раз тому, чего он хочет избежать". Странным, по-моему, являлось бы мое стремление „избегать получения аппарата квантовой механики“, когда речь идет именно о нем. Моя задача заключалась в том, чтобы понять смысл этого аппарата. Именно речь идет о том, чтобы выделить ту часть квантовой механики, которая не зависит от специального выбора операторов и уяснить, что эта часть есть не что иное, как специальный статистический метод, выработанный в соответствии с своеобразием постановки всех задач квантовой механикой. Я считаю, что „постулирование“ Гильбертова пространства должно быть сделано разумно, т. е. как выражение совершенно определенных статистических утверждений. Так, например, у меня показано, что условие „Eigenwertproblem“: $R\psi_\mu = r_\mu \psi_\mu$ не „падает с неба“ и не получается „переводом на физический язык с помощью особого словаря чисто математических соотношений“, а просто является выражением известного статистического требования нулевого рассеяния $\Delta R = 0$ для величины R , имеющей заданное значение. Так, шаг за шагом можно проследить статистический смысл всякого утверждения, содержащегося в математическом аппарате квантовой механики.

После приведенной выше цитаты, В. А. Фок все же возвращается к заведомо неверному пониманию и говорит о фазах и затем о среднем, приписывая мне, что я считаю, что из математического ожидания k я вывожу весь оператор K . Этого мною не делается потому, что этого и делать не зачем. Необходимо показать, что условие $R\psi = r\psi$ эквивалентно условию $\Delta R = 0$ и может быть получено из него и из связи между вероятностями формулированной ранее. Замечу, что В. А. Фок пишет, что $c(k_s, l^*) = \sum_\mu c(k_s, \mu) \varphi(\mu, l^*)$ определены лишь тем, что они имеют заданный модуль. Это неверно, так как эта формула выражает связь между вероятностями различных величин, что следует из сопоставления ее со статистическим принципом обратимости: $w_{ks}(l^*) = w_{l^*}(k_s)$ справедливым для любых k и l .

Далее, замкнутость систем функций выражает известные статистические требования наличия всех возможных значений рассматриваемой величины. Наконец, В. А. Фок отмечает, что „все рассуждения, относящиеся к вычислению средних кв. отклонений, лишены всякого основания“. Однако в среднем входят одна и та же функция φ и доказательство формулы

$$(\Delta A)(\Delta B) \geq \frac{1}{2} \left| \int \varphi (AB - BA) \varphi d\tau \right|$$

широко известно (см., например, М. Борн, Лекции в Ann. d. l'Inst. H. Poincaré, стр. 222 или Ю. Б. Румер „Введение в волновую механику“, ч. I, стр. 141). В. А. Фок пишет, что, если мы примем в качестве основных положений формулы, содержащиеся в § 3, то в них уже будут содержаться все основные гипотезы квантовой механики. Это неверно, потому что в этих формулах, разумеется, содержится все то, но и только то, что не зависит от специального типа операторов. Для меня именно и представлял интерес анализ основ квантовой механики с этой точки зрения, так как это позволяет дать рациональное изложение физического содержания квантовой механики, изложение, не опирающееся на рассуждения, по аналогии которым пользуются иные авторы и которое не может быть признано научным (см., например, курс квантовой механики П. А. М. Дирака и копирующий его курс квантовой механики В. А. Фока). В самом деле, новым и наиболее существенным во всей статье является вовсе не § 3, содержащий известное, а введение канонически-сопряженных переменных, данное на стр. 553—554. Это, на мой взгляд, наиболее прямой и естественный способ введения понятия частицы в квантовой области, потому что инвариантность действия позволяет обосновать всю квантовую механику совершенно независимо от классической теории, что и выпол-

няется далее. Существенно, что при таком изложении становится совершенно ясным, что отличие классической механики от квантовой обусловлено только атомизмом действия. Вместе с тем из изложения видно, что представления о „волновой природе“ квантовых частиц лишены всякого физического содержания и крайне вредны, так как они лишь затемняют существо дела, маскируя своеобразие постановки задач квантовой механикой. Они ведут к представлению о квантовой механике, как об обычной физической теории классического типа, чего на самом деле нет.

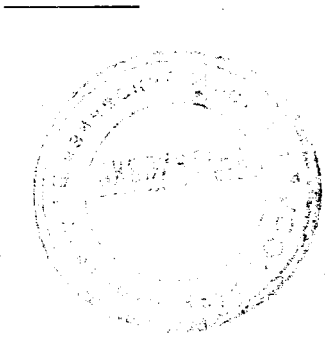
Возражение В. А. Фока не содержит иных конкретных замечаний. Однако я считаю, что в моей работе имеется очень много весьма серьезных, с математической точки зрения, дефектов. Более того, я не берусь утверждать, что в ней выявлены все необходимые статистические положения, необходимые для обоснования нового понимания квантовой механики. Так, например, необходимо яснее формулировать особое положение принципа обратимости квантового процесса, т. е. условие

$$W_{ls}^*(k_s) = W_{ks}(l_s^*).$$

Эта работа не более, как начало программы, которая должна быть осуществлена. Несмотря на все дефекты, мне казалось целесообразным предпринять эту работу, во-первых, чтобы внести ясность в существующее положение вещей и, во-вторых, начать работу по созданию действительного физического понимания атомных явлений, возможного лишь на материалистической основе.

Примечание при корректуре. Эта статья была сдана осенью прошлого года, тогда как „Принципы квантовой механики I“, о которой идет речь у В. А. Фока — более года назад. В настоящее время она весьма устарела, так как за истекший год мною проведен детальный анализ принципов статистической концепции квантовой механики. Наряду с этим, мы видим и окончательную кристаллизацию взглядов копенгагенской школы на принципах позитивизма. См. изложение этой точки зрения в курсе германского физика П. Иордана „Anschauliche Quantentheorie“, Springer 1936.

Весьма возможно, что и взгляды упомянутых в статье лиц изменились.



Редактор Э. В. Шпольский.

Техн. редактор В. Н. Диков.

ОНТИ № 78. Тираж 3.700 + 50 отд. отт. Сдано в набор 3/V 1937 г. Подп. в печ. 20/VI 1937 г. Формат бумаги 60 × 92. Уч.-авт. л. 14,75. Бум. лист. 47/8 + 8 вкл. Печ. зн. в бум. листе 101.000. Заказ № 911, Уполном. Главл. № Б-10130. Выход в свет июнь 1937 г.

3-я тип. ОНТИ. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.