

**“Парадоксы” квантовой механики глазами  
“реалиста-эмпирика”, “конструктивиста-эмпирика” и  
“конструктивиста-рационалиста”\***

*“Взгляды Эйнштейна представляют собой философское убеждение, которое не может быть ни доказано, ни опровергнуто физическими аргументами. Единственное, что можно сделать в плане возражения этой точке зрения, это сформулировать другое понятие реальности...”. М.Борн [5, с. 170]*

*1. Введение*

В квантовой механике сложилась уникальная ситуация. Вот уже более 70 лет в этой развитой и эффективной науке сосуществует несколько спорящих между собой традиций (куновских “парадигм”), называемых “интерпретациями”. Главные из них – “копенгагенская”, отцами которой были Н.Бор, В.Гейзенберг, М.Борн, и “классическая”, отстаиваемая ориентировавшимися на идеалы ньютоновской классической механики А.Эйнштейном, Э.Шредингером, Л. де Бройлем. Последние сформулировали свои претензии к первым в виде набора парадоксов, доказывающих, с их точки зрения, неполноту и незаконченность квантовой механики как физической теории. Эти “парадоксы” интенсивно обсуждаются физиками и сегодня [см., например: 12; 28; 26; 32 и др.].

Мы хотим показать, насколько формулировка этих парадоксов и даже само их существование зависят от мировоззренческой эпистемологической позиции. Для этого мы рассмотрим парадоксы с трех указанных в названии статьи позиций, последняя из которых, развиваемая автором [14], малоизвестна и поэтому будет изложена более подробно. Формулировки широко обсуждающихся в современной философии науки первых двух мы заимствуем у видного современного американского философа науки ван Фраассена.

---

\* Статья представляет собой результаты исследования, поддерживаемого РГНФ, проект N 96-03-04413.

Согласно ван Фраассену, его оппоненты – представители “реалистического эмпиризма”<sup>1</sup> утверждают, что “картина мира, которую наука дает нам, является истинной картиной мира,... и сущности, постулируемые в науке, действительно существуют: наука продвигается посредством открытий, а не изобретений... Цель науки – дать нам истинную историю о том, как выглядит мир; и принятие научной теории включает веру в то, что это есть истина” [33, р. 7-8].

Согласно же ван Фраассеновскому “конструктивному эмпиризму”: “цель науки – дать нам теории, которые являются эмпирически адекватными; и принятие теории включает, как веру, только то, что она эмпирически адекватна” [33, р. 12]. Под “эмпирической адекватностью” имеется в виду совпадение эмпирических проявлений теоретической модели явления и самого явления. Под “конструктивизмом” он имеет в виду “взгляд, согласно которому научная деятельность является скорее конструированием, чем открытием: конструирование моделей, которые должны быть адекватны явлению, а не открытие истины, имеющей отношение к ненаблюдаемому” [33, р. 5].

Рационализм ван Фраассен в расчет не берет, ибо считает, что именно “эмпиризм всегда был главным философским ориентиром в изучении природы” [33, р. 3], однако, если всерьез отнестись к логической и исторической критике эмпиризма Д.Юмом, К.Поппером, Т.Куном и другими постпозитивистами, то такое пренебрежение к рационализму выглядит не вполне обоснованным.

## *2. “Конструктивно-рационалистическая” модель физической науки*

Третья, авторская позиция получена в результате рассмотрения творчества Г.Галилея в контексте всей физики Нового времени вплоть до современной квантовой механики.

Если обратиться к его “Беседам о двух новых науках...”, где изложен его подход к решению задачи о свободно падающем теле, из которой, с нашей точки зрения, родилась механика и вся новоевропейская физика, то, к удивлению многих, обнаружится, что основой его построений является не эмпирическое наблюдение, а теоретическое убеждение в том, что природа “стремится применить во всяких своих приспособлениях самые простые и легкие средства.... Поэтому когда я замечаю, что камень, выведенный из состояния покоя и падающий со значительной высоты, приобретает все новое и новое приращение скорости, не должен ли я думать, что подобное приращение происходит в самой простой и ясной для всякого форме? Если мы внимательно всмотримся в дело, то найдем, что нет прираще-

ния более простого, чем происходящее всегда равномерно...” [6, с. 238]. Схема “физической” работы Галилея такова: задается закон движения – тела падают с одинаковой скоростью (в 3-й и 4-й “дни” – равномерноускоренно) – и в результате мысленных физических экспериментов происходит создание элементов физической модели: тела, идеального движения в пустоте и мешающей этому идеальному движению среды [14].

Отметим, использование, фактически, процедуры “по определению” (альтернатива декартовским “врожденным идеям” и кантовским “априорным формам”) при введении Галилеем “пустоты” – такой идеальной среды, где его идеальное падение тела и реальное совпадают, и “среды” – того, что отклоняет реальное падение от идеального (т.е. основные законы физики есть определения, как это утверждали Ж.Даламбер и Э.Мах). А далее надо суметь воплотить в материал определение-проект этой идеальной среды, как это делает инженер со своим проектом. И Галилей делает это в ходе созданного им эксперимента, создавая “гладкие наклонные плоскости” и другие “конструктивные элементы” инженерной конструкции. Аналогичный ход просматривается для классической механики<sup>2</sup>, электродинамики и других разделов физики.

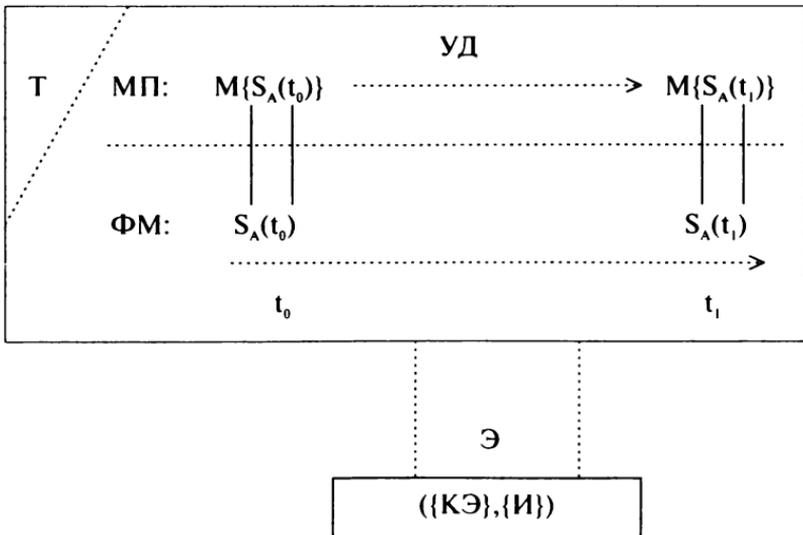


Схема 1.

Именно Галилей (в своих “Беседах...”) задал основу структуры естественной науки Нового времени, характеризующуюся изображенной на *схеме I* связью между теорией (“Т-блок” состоящий из двух слоев: физической модели (ФМ) и математического представления (МП)<sup>1</sup>) и реальным материалом (“конструктивные элементы” – КЭ и процедуры измерения И-, определяющие “измеримые величины”) посредством эксперимента (вертикальные стрелки с индексом Э)<sup>4</sup>.

Принципиально важно, что “в отличие от опытов, которые проводили многие ученые до Галилея, *эксперимент* предполагает, с одной стороны, вычленение в реальном объекте идеальной составляющей (при проецировании на реальный объект теории); а с другой – перевод техническим путем реального объекта в идеальное состояние, т.е. полностью отображаемое в теории” [19, с. 141]. Опыты, как они понимаются в эмпирической традиции, идущей от Фр.Бэкона, дают некий исходный эмпирический материал (“эмпирический хаос” [14]) типа “донаучных” образов движения, газа и др. Посредством эксперимента реализуются научные “идеальные объекты”: идеальное движение в пустоте, идеальный газ и др.<sup>5</sup>

“Идеальные объекты” “специфицируются... относительно идеальной действительности” [19, с. 13], которую здесь задает раздел физики (науки) – основная единица анализа для развиваемого нами подхода. *Раздел физики* (включающий в себя эксперимент и измерение в качестве своих составляющих) мы сначала берем как заданный (скажем, в реферативных журналах и учебниках) исходный эмпирический материал. Затем он определяется теоретически через отображенную на *схеме I* структуру (с соответствующим содержательным наполнением), *называемую “ядром раздела науки”* (на основе последнего возможно рассмотрение множества явлений и задач, составляющих наполнение более широкого понятия – раздела науки).

В рамках этой модели ядро раздела физики (науки) служит “оболочкой” для конституирующих его “*фундаментальных идеальных объектов*” (ФИО). Примерами ФИО является тело, сила и пустота в классической механике, заряженная частица и электромагнитное поле в электродинамике, квантовая частица в квантовой механике и т.п. Образы ФИО, которые используются для построения моделей эмпирических явлений и “картины мира” [20], задаются в модельном ФМ-слое, хотя их поведение определяется в математическом МП-слое. Такая, заданная еще Галилеем, двухслойность (ярко проявляющаяся в использовании для решения одной задачи различных математических представлений типа Ньютона, Лагранжа, Гамильтона и др.) широко используется в науке, развивающейся за счет рабо-

ты как в модельном, так и в математическом слое, но часто не замечается как учеными, так и философами из-за того, что в послелоренцевой физике на первый план вышла математическая “степень свободы”. Отличительной чертой элементов “ФМ-слоя” является их непосредственное выражение через “измеримые величины”.

Структура теоретической части раздела физики (Схема 1), заданная еще Галилеем и Ньютоном при создании классической механики, представляет собой структурную модель описания движения-перемещения (что служит для нас основой для теоретического определения физики в целом). В ней “физическая модель” состоит из остающегося тождественным самому себе “тела-системы” – А, “времени” –  $t$  и изменяющихся со временем “состояний” системы –  $SA(t)$  (в “пространстве состояний”), описывающих “движение-перемещение”. “Математическое представление” состоит из математических образов соответствующих элементов физической модели  $M\{S_A(t)\}$  (процедуры соотнесения соответствующих элементов модели и их математических образов обозначены вертикальными стрелками) и “уравнения движения” (УД), связывающего состояния системы в различные моменты времени, определяя этим поведение системы и составляющих ее фундаментальных идеальных объектов.

Автор утверждает, что исходные положения (“экспериментальные факты”- аксиомы), которые задают любой раздел физики, по существу, отвечают на вытекающие из схемы 1 вопросы: 1) о физической системе; 2) о пространстве состояний системы; 3) о “математическом представлении”, включающем 4) описание процедуры соотнесения соответствующих элементов модели и их математических образов и 5) уравнении движения, а поскольку движение связывается с определенной “инерциальной” системой отсчета, встает вопрос б) о законе преобразования от одной “инерциальной” системы отсчета к другой; 7) о процедурах измерения используемых в модельном ФМ-слое измеримых величин. Этот тезис подтверждается разбором различных разделов физики, проводимых в [14].

Таковы основные черты галилеевского “конструктивного рационализма”, альтернативного как рационализму Р.Декарта, так и эмпиризму Фр.Бэкона, и отвечающего ему способа создания новых фундаментальных идеальных объектов и соответственно новых разделов физики в ходе “сырьедобывающей” научной деятельности. Далее с их помощью в ходе “космопостроительной”<sup>6</sup> деятельности строят модели различных явлений природы и картину мира в целом.

Для эмпиризма нет принципиальной разницы между построением теории электромагнитного поля и теорией тлеющего разряда. В обоих

случаях исходным является некоторое заданное эмпирическое явление (совокупность фактов), в котором открываются или для которой изобретаются соответствующие теории-модели.

Для “конструктивного рационализма” модель науки принципиально двухфазна. На первой “сырьедобывающей” фазе, в отличие от эмпиризма, нет заданных эмпирических объектов, явлений. Здесь создается и изобретается не только теоретическая часть, но и ее воплощение в реальном материале. Поэтому здесь бессмысленны как критерий “эмпирической адекватности” “конструктивного эмпиризма”, так и критерий истинности “реалистического эмпиризма”. Здесь мы тоже имеем дело с изобретением, а не с открытием, но критерием отбора выступает не “эмпирическая адекватность”, а двухступенчатый механизм: во-первых, надо суметь воплотить идеальный теоретический проект в реальный материал, во-вторых, полученный раздел науки должен быть достаточно эффективен на “космопостроительном” поприще (“квадратное колесо” никому не нужно). Полученные реализации “фундаментальных идеальных объектов” *искусственны, но реальны* (как кирпичи). Поэтому в ходе “космопостроительной” работы по объяснению заданных явлений можно относиться к ним как к “действительно существующим сущностям”, как это делают реалисты. Рационализм в нашей позиции проявляется в ходе “сырьедобывающей” деятельности, в которой за основу берется не эмпирический материал, а теоретическое утверждение (типа “тело падает равномерноускоренно”), выступающее в качестве проекта, подлежащего воплощению в реальном материале. Отношение к фундаментальным идеальным объектам и построенным из них конструкциям как к искусственным, но реальным (подобно кирпичам и домам) отличает позицию “конструктивного рационализма” от позиций и “реалистического эмпиризма”, и “конструктивного эмпиризма”.

Нам представляется, что в истории физики (и естественной науки вообще) наличие указанных двух фаз в развитии науки отражается в периодически возобновляющемся споре о том, в чем задача физики: “объяснять” или “описывать” [14]<sup>7</sup>. Приверженность творцов новых разделов физики: классической механики (Галилей, Ньютон с его знаменитым тезисом “гипотез не создаю”), электродинамики (Максвелл, Герц), СТО (Мах, ранний Эйнштейн, находившийся под сильным влиянием Маха) в своей деятельности не “космопостроительной” (“объяснительной”), а “сырьедобывающей” (“описательной”) установка обусловлена тем, что следование “описательной” установке “развязывало руки” для создания нового “строительного материала” – “фундаментальных идеальных объек-

тов” и объемлющего его “ядра раздела науки”, которые часто рождаются не через объяснение, а через конструктивное преобразование парадокса<sup>8</sup>. Часто (на основании чтения учебников) об этом превращении говорят “физики привыкли”. Но на самом деле перевод парадокса в определение соответствующего движения есть не результат “привыкания”, а результат очень сложной и многоплановой конструкторской работы по построению новой многослойной структуры, отвечающей схеме 1.

### 3. “Парадоксы” квантовой механики

Обратимся теперь к обсуждению основ квантовой механики, к ее “сырьедобывающей” фазе. Поскольку, как констатирует Де Витт, “область несогласий сосредоточена, в первую очередь, вокруг проблемы описания наблюдаемых” [28], то начнем с “*проблемы измерений*”. Согласно ван Фраассену, последняя формулируется следующим образом: “Измерение само является физическим взаимодействием и, следовательно, процессом в области применимости квантовой механики” [33, р. 177]<sup>9</sup> (см. также [30]). Подобное утверждение логично для эмпиристской позиции (и реалистической и конструктивистской), для которой первичным является эмпирическое явление, в качестве которого может выступать и измерение.

С точки зрения “конструктивного рационализма” измерение (так же как и приготовление исходного состояния) не является “эмпирическим явлением” (процессом, взаимодействием), подлежащим теоретическому описанию. Измерение – нетеоретический элемент гетерогенной конструкции, называемой “раздел науки”<sup>10</sup>. Соответствующую гетерогенную модель физического явления мы находим у В.А. Фока<sup>11</sup>. Анализируя структуру реального эксперимента в квантовой механике, Фок различает в нем “три стадии: приготовление объекта, поведение объекта в фиксированных внешних условиях и собственно измерение” (а в соответствующем приборе – три части: “приготавливающую”, “рабочую” и “регистрирующую”) [22, с. 166] (подобное членение можно найти и у Гейзенберга [7, с. 20]). При этом предметом описания квантовомеханической теории является лишь средняя часть, отождествляемая нами с “Т-блоком” (схема 1). На схеме 2 изображены эти три части:

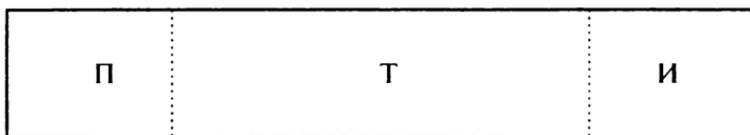


Схема 2.

где П – приготовление исходного состояния исследуемой физической системы; И – измерение конечного состояния, включающее процедуру сравнения с эталоном, Т – изображенная на схеме 1 теоретическая часть. Сравнение со схемой 1 выявляет и подчеркивает принципиально нетеоретический (прячущийся у Фока, Гейзенберга и Бора за словами “на языке классической механики”) характер крайних частей, которым на схеме 1 отвечает нижний прямоугольник, содержащий “конструктивные элементы”, обеспечивающие реализацию идеальных систем и их исходных состояний, а также процедур измерения (“измеримых величин”). Здесь речь идет о последовательном соединении теоретической части и “реальных действий с реальными объектами” в одно целое. Т.е. наука не делится, как у неопозитивистов и материалистов-реалистов, на два параллельных слоя (языка, уровня познания и т.д.), и эмпирическому явлению сопоставляется не “теоретическая”, а “научная” модель, в которой последовательно соединены три указанные части.

Важность этого момента очень ярко проявляется при обсуждении проблемы измерения в квантовой механике [22; 27], но схема 2 заложена уже в галилеевско-ньютоновской механике. В простейшем механическом эксперименте Галилея по скатыванию шаров с наклонной плоскости мы найдем те же три фазы-части: П – конструкцию для приготовления начального состояния (наклонная плоскость с поднятым на определенную высоту шариком); Т – подчиняющееся теории движение шарика по гладкой наклонной плоскости; И – процедуры измерения времени, расстояния и скорости.

Таким образом ответ “конструктивного рационализма” на сформулированную ван Фраассеном “проблему измерения” состоит в том, что измерение располагается вне теории<sup>12</sup>. Этот ответ является ключом и к решению знаменитого шредингеровского парадокса “взрывающейся кошки”.

В мысленном эксперименте Шредингера [24, с. 78, 239-240] кошка сидит на бомбе, взрывное устройство которой запускается радиоактивным атомом и счетчиком Гейгера. Описывая с помощью волновых функций не только радиоактивный атом, запускающий “адскую машину”, но и всю систему, включая кошку, Шредингер

приходит к парадоксу, подробно анализируемому в [13]. Парадокс состоит в том, что при применении к кошке квантовомеханического описания, наряду с предполагаемыми “чистыми” состояниями, отвечающими живой или мертвой кошке, согласно принципу суперпозиции что-то должно отвечать и суперпозиции волновых функций этих чистых состояний — состоянию, когда кошка “ни жива, ни мертва”; что явно противоречит здравому смыслу.

Наш ответ, вытекающий из схемы 2, состоит в том, что в мысленном эксперименте Шредингера в теоретическую часть входит только радиоактивный атом. Со счетчика Гейгера начинается измерительный прибор. Взрывное устройство и кошка играют роль стрелки прибора. Поэтому ни волновые функции, ни принцип суперпозиции отношения к кошке не имеют.

Зафиксированные на схеме 2 различия позволяют снять и так называемую проблему “редукции волновой функции”. Суть этой проблемы состоит в том, что если до измерения физической величины (скажем, координаты) система находится в суперпозиционном состоянии, характеризующемся распределением вероятностей для различных результатов измерения, то после измерения система оказывается лишь в одном из соответствующих чистых состояний. Причем это изменение не подчиняется уравнению Шредингера и происходит “мгновенно”. С нашей точки зрения, здесь речь идет о приготовлении нового исходного состояния. Поскольку процедура приготовления исходного состояния всегда содержит принципиально нетеоретический элемент, то в возникающем различии между конечным состоянием первого опыта и начальным состоянием второго опыта нет ничего удивительного. Никаких противоречий в квантовой теории здесь нет [ср.: 22, с. 173-174]. Принцип вероятностной интерпретации волновой функции (ВИВФ) Борна говорит только, что “точное измерение какой-либо механической величины может дать в качестве значения этой величины лишь одно из собственных значений соответствующего оператора” [9, с. 173-174]<sup>13</sup>. Здесь ничего не говорится о состоянии системы, в котором она оказывается после измерения. Измерение может быть организовано так, что в его результате система вообще разрушается.

Таким образом, с нашей точки зрения, никакой “проблемы измерений” и “проблемы редукции” в квантовой механике не существует. Источником этих и многих других “парадоксов” является игнорирование границ между выделенными на схеме 2 тремя фазами, неоправданная экспансия 2-й части на 1-ю или 3-ю.

Рассмотрим теперь обвинения в “индетерминизме”, выдвигаемые “реалистами” в двух направлениях.

Одно направление связано с вероятностным, а не “детерминированным” характером описания поведения квантовой системы. “Вероятностная интерпретация”, по словам Луи де Бройля, “исключала возможность традиционного для классической физики точного описания атомных явлений как происходящих в пространстве и времени и тем самым исключала детерминизм” [10, с. 32, 11].

Нам, как и авторам [28; 22], эта претензия представляется сомнительной. Обращаясь к изображенному на схеме 1 связям, мы видим, что в теоретическом Т-блоке описана связь двух последовательных состояний объекта-системы А:  $S_A(t_0)$  и  $S_A(t_1)$ . Зная состояние системы в момент  $t_0$ , мы можем предсказать ее состояние в момент  $t_1$ , т.е. характер связи идеальных состояний физической модели столь же детерминистичен, как и в классической механике. Различие с классической механикой возникает в более сложной процедуре связи между величинами, характеризующими идеальное состояние системы в теоретическом “Т-блоке” и отвечающими им значениями реальных измерений (И на схеме 1): “Каждой величине, — говорит В.А.Фок, — соответствует своя серия измерений, результаты которой выражаются в виде распределения вероятностей для этой величины” [22, с. 166-167]. Т.е. вероятностный тип связи идеального состояния системы с реальным предполагает в общем случае не одно, а серию измерений. Это вносит некоторый элемент неопределенности (который к тому же последовательно уменьшается в случае удлинения серии измерений), но не волюнтаризма (индетерминизма).

Вторая трактовка индетерминизма связана с якобы “конструктивной” ролью измерения, ярко проявляющейся в парадоксах “редукции волновой функции”, “нелокальности” и ЭПР (Эйнштейна, Подольского, Розена). Первый мы уже рассмотрели. Обратимся ко второму.

Для этого рассмотрим следующий простой мысленный эксперимент. Пусть разлетаются две частицы со спином  $1/2$ , образовывавшие синглетное состояние. Когда они разлетелись настолько далеко, что взаимодействием между ними можно пренебречь, производится измерение проекции спина на ось  $z$  1-й частицы. До измерения мы знаем, что для каждой из частиц вероятности значений проекций спинов на ось  $z$ , равных  $+1/2$  и  $-1/2$ , одинаковы. Но после того, как мы измерили это значение для 1-й частицы, мы сразу узнаем значение проекции и для 2-й (их совместное состояние остается синглетным, следовательно, сумма проекций спинов должна быть равна нулю). Можно ли это трактовать как демонстрацию таинственной нелокальности? С нашей точки зрения, нет (приведенный в [13] “контрпример” сводится к ЭПР-парадоксу). Оттенок нелокальности этому мысленному эксперименту придает соответствующий

закон сохранения (который всегда интегрален). В этом плане здесь та же ситуация, что и с двумя столкнувшимися бильярдными шарами: если нам известен их суммарный импульс, то достаточно измерить импульс одного шара, чтобы узнать импульс другого.

Обратимся теперь к знаменитому ЭПР-парадоксу. Он получается, если в приведенном выше мысленном эксперименте сравниваются результаты измерений некоммутирующих между собой величин, скажем, проекций спина на ось  $z$  и на ось  $x$ . Тогда “в результате двух различных измерений, произведенных над первой системой, вторая система может оказаться в двух разных состояниях, описываемых различными волновыми функциями. С другой стороны, так как во время измерения эти две системы уже не взаимодействуют, то в результате каких бы то ни было операций над первой системой во второй системе уже не может получиться никаких реальных изменений... Таким образом, одной и той же реальности (вторая система после взаимодействия с первой), - говорит Эйнштейн, – можно сопоставить две различные (волновые – А.Л.) функции... Здесь реальность  $P$  и  $Q$  (величины измерений двух некоммутирующих физических величин над второй системой – А.Л.) ставится в зависимость от процесса измерения, производимого над первой системой, хотя этот процесс никоим образом не влияет на вторую систему. Никакое разумное определение реальности не должно, казалось бы, допускать этого” [25, т. 3, с. 607-610]<sup>14</sup>.

В отличие от “реалистов” для “конструктивного эмпирика” ван Фраассена тут никаких проблем нет, ибо он отрицает саму “необходимость иметь какое-либо определенное значение или какое-либо значение вообще, когда не производится никакого измерения” [33, р. 175]. Это утверждение почти дословно совпадает с утверждением копенгагенца М. Борна: “Физик должен иметь дело не с тем, что он может мыслить (или представлять), а с тем, что он может наблюдать. С этой точки зрения состояние системы в момент времени  $t$ , когда не производится никаких наблюдений, не может служить предметом рассмотрения” [5, с. 171]. Поэтому сформулированные Эйнштейном парадоксы демонстрируют “только лишь парадоксальную форму традиционной (эйнштейновской) точки зрения, где ненаблюдаемое промежуточное состояние считается таким же реальным, как действительно наблюдаемое конечное состояние” [5, с. 171]. Т.е. Борн просто отбрасывает (запрещает) сформулированные “реалистом” Эйнштейном вопросы, относящиеся к обсуждению теоретической модели квантовых объектов. “Конструктивный эмпиризм” требует всего лишь “эмпирической адекватности” и может удовлетвориться “минималистской” или “инструменталистской” интерпретацией квантовой механики.

“Конструктивный рационализм” утверждает искусственность, но реальность квантового объекта, поэтому может рассуждать не только о его измерении, но и о его поведении, о его физической модели, о “физической реальности” состояний системы, когда не производится измерения. На уровне физической модели ЭПР-парадоксу “реалиста” Эйнштейна противостоит “принцип дополнительности” Бора.

С нашей точки зрения, “принцип дополнительности” Бора вводит новую характеристику системы – “набор одновременно измеримых величин” (НОИВ)<sup>15</sup>. Необычность этой характеристики связана с тем, что она фиксирует незавершенность первых двух фаз эксперимента (схема 2), их недостаточность для задания состояния системы<sup>16</sup>. Указание НОИВ (определяемого типом измерительных приборов, а не их показаниями, определяющими конкретное состояние) фиксирует пространство состояний. После такого доопределения системы уже можно говорить об определенном ее состоянии до измерения<sup>17</sup>. В силу этого в ЭПР-парадоксе, как и утверждал Бор, рассматриваются две разные, а не одна и та же система и поэтому претензии Эйнштейна неправомерны.

Рассмотрим теперь утверждение “реалистов” о неполноте квантовой механики. Из нашей позиции вопрос о полноте квантовой механики сводится к ответу на сформулированные выше 7 вопросов, определяющих содержательное наполнение схемы 1. Математическим представлением (п. 3) пусть является представление Шредингера с одноименным уравнением движения (п. 5). Мы уже обсудили вопрос об идеальных состояниях системы в физической модели (п. 2) и процедуры связи между ними и соответствующими математическими образами –  $\Psi$ -функциями, с одной стороны (п. 4), и с измеримыми величинами – с другой (п. 7), задаваемыми вероятностной интерпретацией волновых функций Борна. Не вызывает трудностей и ответ на 6-й вопрос – о законе преобразования от одной “инерциальной” системы отсчета к другой.

Осталось разобраться с вопросами о том, что же является системой (п. 1), ее математическим образом (п. 3) и процедурами, их связывающими (п. 4). Ответы на эти вопросы дает обобщенный “принцип соответствия” Бора. Согласно этому принципу (понимаемому нами как физическому постулату, а не философскому принципу) за основу физической модели (п. 1) берется “затравочная” классическая модель, для нее составляется классическое уравнение движения в представлении Гамильтона, а затем в классическом Гамильтониане, как указано в работе Бора 1949 г., “кинематические и динамические переменные классической механики заменяются абстрактными символами (называемыми ныне операторами – А.Л.), подчиняющимися некоммутативной алгеб-

ре” [4, с. 404-5] (аналогичная процедура, часто со ссылкой на принцип неопределенности Гейзенберга, используется и в ходе приготовления исходного состояния). Таким образом классическая физика оказывается принципиально встроенной в самое сердце квантовой физики<sup>18</sup>.

Отметим, что приведенные трактовки принципов соответствия и дополненности Бора являются “неканоническими”. Часто в философской литературе приводится более ранняя формулировка “принципа соответствия” Бора (см. формулировку И.В.Кузнецова и ее критику С.В.Илларионовым в [18 и 1, с. 165])<sup>19</sup>. Но именно приводимая нами “обобщенная” формулировка используется в современной физике, порою без ссылок на боровский принцип, как, например, в изложении Дирака [8, с. 156]. То же можно сказать и о “принципе дополненности”. В работе физиков-теоретиков требование Н.Бора “принимать во внимание полностью всю экспериментальную установку” в “хорошо определенном описании явления” [4, с. 510] сводится к указанию НОИВ, которая обязательно присутствует в любом квантовомеханическом описании<sup>20</sup>.

В результате мы заключаем, что предложенная нами формулировка квантовой механики позволяет снять в рамках “конструктивного рационализма” претензии “реалистов-эмпириков” в неполноте квантовой механики.

#### 4. Итоги

Итак, мы рассмотрели две интерпретации квантовой механики – эйнштейновскую “классическую” и боровскую “копенгагенскую” и три мировоззренческие позиции: “реалистического эмпиризма”, “конструктивного эмпиризма” и “конструктивного рационализма”. Они находятся в непростых отношениях между собой.

Термин “копенгагенская интерпретация” имеет два смысла – широкий и узкий. Исходным является узкий, где ее связывают с “принципом дополненности” Бора [11], противопоставляемому ЭПР-парадоксу “классиков”. В этом смысле и “конструктивный эмпиризм” и “конструктивный рационализм” придерживаются “копенгагенской интерпретации”, а “реалистический эмпиризм” – “классической”. Но этот узкий смысл в ходе указанной дискуссии постоянно перерастает в более широкий – указание на соответствующую школу, противостоящую “реалистам-классикам” во главе с Эйнштейном. И здесь на передний план выходит вопрос о физической модели.

В этом вопросе “конструктивный эмпиризм” с его принципом “эмпирической адекватности”, как уже говорилось выше, легко скаты-

вается к крайней операционалистской позиции, отрицающей существование физических моделей (ФМ-слоя на схеме 1), утверждая, что “квантовая теория есть математический формализм, позволяющий ученым успешно вычислять вероятности определенных событий” [31], или что “законы квантовой механики дают только вероятностные связи между результатами последовательных наблюдений, производимыми над системой” [34, р. 6]. Здесь “конструктивный рационализм” солидаризуется с “реалистическим эмпиризмом”, разводя математический (МП) и модельный (ФМ) слои (схема 1) и двигаясь в понимании квантовой механики дальше чисто операционалистской позиции. Собственно, под “интерпретацией” квантовой механики следует понимать построение соответствующей физической модели (операционалистская интерпретация – предельный случай, в котором физическая модель практически отсутствует, сливаясь с элементами “математического представления”).

Предложенная нами модель квантовой механики представляет такую развернутую интерпретацию. Основание ее составляют перечисленные выше четыре “кита” – боровский принцип дополнительности (в виде НОИВ) и принцип соответствия (в виде процедуры квантования “затравочной” классической модели), вероятностная интерпретация волновой функции Борна, уравнение и математическое представление Шредингера – и приведенная автором совокупность акцентов-добавок:

1) наличие принципиально “нетеоретических” частей (часто часто они прячутся за словосочетаниями “классический измерительный прибор” и “прямое измерение” [27, р. 40]) при “приготовлении” исходного и измерении конечного состояния, т.е. в П- и И- частях схемы 2;

2) тесно связанное с принципом соответствия четкое различие модельного (ФМ) и математического (МП) слоев теоретического описания (схема 1), подчеркиваемое широким использованием многих эквивалентных “математических представлений” для одной физической системы (Шредингера, Гейзенберга и др.).

Эту интерпретацию можно отнести к классу “копенгагенских” интерпретаций в широком смысле, но класс этот очень разнообразен и расплывчат, поэтому отнесение к нему слабо определяет саму интерпретацию<sup>21</sup>.

Естественно, что интерпретация более конкретна, чем мировоззренческая позиция, но именно последняя задает систему вопросов, признаваемых осмысленными, и, как было показано, от нее зависит не только формулировка внутренних парадоксов раздела науки, но и само их суще-

ствование и критерий достроенности или недостроенности раздела науки.

Так с позиций “конструктивного рационализма” и “конструктивного эмпиризма” никаких “парадоксов” в современной квантовой механике нет и она полна.

С точки зрения “реалистов-эмпириков” это не так. Свое недовольство они выражают в форме рассмотренных выше “парадоксов” и претензий к “копенгагенской интерпретации” [28; 26]. В соответствии со своей картиной мира “реалисты-эмпирики” пытаются решить порожденные ими “парадоксы” за счет изменения физических постулатов, за счет введения “скрытых параметров” [3] или тяготеющей к тому же “статистической интерпретации” [26]. Конструктивизм им представляется слишком искусственным и “нереальным”, но в борьбе за простой “реализм” они доходят до “многомирной” интерпретации [28], утверждающей, что каждое измерение приводит к переходу в новую Вселенную.

В заключение хочу выразить искреннюю признательность за ценные замечания А.А.Печенкину, С.В.Илларионову и В.П.Визгину.

---

<sup>1</sup> У ван Фраассена это говорится о “научном реализме” – весьма разнородном антиинструменталистском и антиконвенционалистском течении. Приведенная (“minimal” по ван Фраассену) формулировка хорошо описывает рассматриваемую ниже позицию А.Эйнштейна и других “физиков-классиков”, но жестко критикуется основными представителями “научного реализма” как слишком примитивный [29].

<sup>2</sup> Аналогично: второй закон Ньютона – определение силы; третий закон Ньютона, с помощью которого выводится закон сохранения импульса, – определение инертной массы, ибо дает способ ее измерения посредством столкновения с эталонным телом (сам Ньютон измерял массу путем взвешивания); закон тяготения (в сочетании со вторым законом Ньютона и третьим законом Кеплера) – определение тяжелой массы как пропорциональной инертной массе. В результате введения силы (сначала тяготения, потом других ее реализаций) изобретение ньютоновской механики для науки по своей эффективности может быть сопоставлено с изобретением колеса для техники.

<sup>3</sup> В “Беседах...” Галилея они выделены по форме: первый – в виде живого диалога на итальянском языке, в ходе которого приводятся многочисленные мысленные эксперименты; второй – в виде читаемого трактата, написанного на латыни и состоящего из аксиом, лемм, теорем по образцу геометрии Евклида).

<sup>4</sup> Аналогичные элементы можно найти и в эмпиристской модели науки В.С.Степина [20, с. 97].

<sup>5</sup> Ср. с “наличными” и “научными” представлениями и с “внешним” и “внутренним” “содержанием микротеорий” у У.Селларса [21, с. 349, 355].

- <sup>6</sup> Это различие и терминологию мы взяли у Галилея: “Для нас будет достаточно, если мы уподобимся... рабочим, выламывающим и добывающим из карьеров мрамор, из которого впоследствии опытные скульпторы могут создать удивительные образы” [6, с. 266]. Это различие фиксируется также в куновском делении на “нормальную” и “аномальную” науки и в эйнштейновском – на “конструктивные” и “фундаментальные теории.”
- <sup>7</sup> Так в связи со становлением электродинамики в конце XIX в. под флагом борьбы с “механицизмом” ведущее место занял “описательный” подход, связываемый Больцманом в первую очередь с именем Максвелла [2, с. 62-66]. Но после того как теория электромагнитного поля и специальная теория относительности (СТО) приняли окончательный вид в работах Лоренца и Эйнштейна, снова стала возрождаться “объяснительная” установка (в частности у позднего Эйнштейна в работах по квантовой механике).
- <sup>8</sup> Так эзеновские парадоксы, призванные доказать “нечто” движения, превращаются в определение механического движения (постулат о движении с постоянной скоростью как естественном состоянии тела), парадоксальная “твердость” электромагнитного эфира – в определение нового немеханического объекта – электромагнитного поля, парадокс “волна-частица” – в определение новых квантовых объектов.
- <sup>9</sup> “Таким образом, здесь имеет место серьезная проблема согласованности: а именно действительно ли то, что квантовая теория говорит о таких процессах, согласуется с ролью, которую они играют в борновских правилах, связывающих состояния с результатами измерений? Это называется проблемой измерения, которая все еще является центральной темой дискуссий в философии физики” [33, р. 177].
- <sup>10</sup> Таким образом, “конструктивный рационализм” полагает несобоснованным и неверным популярное в современной постпозитивистской философии науки [см.: 21, с. 347] и характерное для “реалиста-эмпирика” метафизическое утверждение: “Если квантовая теория способна дать полное описание всего, что может произойти во вселенной, то она должна иметь возможность описать также сам процесс наблюдения...” [2, с. 668, то же найдем в 15, с. 307-308].
- <sup>11</sup> Сочетающего в себе тягу к “реалистическому эмпиризму” с приверженностью к “копенгагенской интерпретации”, к постулатам М. Борна и Н. Бора (ученые редко придерживаются идеологически чистых позиций).
- <sup>12</sup> Что касается теории измерений в квантовой физике [27], то, как и в классической физике, ее необходимость связана с тем, что измерение может быть “непрямым”, например с использованием пробного объекта. Но как бы сложно не был организован эксперимент при измерении, в конце всегда обнаруживаются процедуры сравнения (объективированные, без ссылок на мнение наблюдателя) [23]. В квантовой механике такой типичной процедурой сравнения является ответ на вопрос: в этой или в той точке пространства в определенный момент находилась квантовая частица. При этом совершенно неважно с помощью какой системы шелды, фотопластинок и т.п. была осуществлена эта процедура сравнения.
- <sup>11</sup> ВИВФ Борна по Л. де Бройлю, чья формулировка наиболее адекватна действиям современного физика-теоретика, сводится к этому “принципу квантования”, дополненному “принципом спектрального разложения”, утверждающим, что “вероятности различных возможных значений некоторой механической величины, характеризующей частицу, полная  $\Psi$ -функция которой известна, пропорциональны квадратам (точнее, квадратам модуля) амплитуд соответствующих компонент

- спектрального разложения  $\Psi$ -функции по собственным функциям рассматриваемой величины” [10, с. 173-174].
- <sup>14</sup> “Реалисты” пытаются смягчить указанные “парадоксы”, опираясь на концепцию “неконтролируемого взаимодействия” между квантовым объектом и измерительным прибором и “принцип неопределенности” Гейзенберга [1, с. 180-195; 16, с. 27]. Но реально физик-теоретик (кроме задач, оговоренных в сноске 12) никакого обратного воздействия измерительного прибора на исследуемую систему не учитывает [ср.: 22, с. 158]. Принцип неопределенности Гейзенберга выведен в рамках теории и для теории (Т-блока схем 1 и 2) и указывает как посредством волнового пакета можно осуществить переход от квантовомеханического описания к классическому для классической частицы.
- <sup>15</sup> В литературе часто употребляют другой термин – “полная система коммутирующих наблюдаемых”, но поскольку в последнем к терминам М-слоя (“наблюдаемые”), о которых у нас идет речь, применены термины МП-слоя (“коммутирующие”), то этот термин нас не удовлетворяет.
- <sup>16</sup> В квантовой механике вместо одного типа пространства состояний (координатно-импульсного) их оказывается два и “затравочная” классическая система (см. ниже) может быть спроецирована в разные пространства состояний. И встает неизвестный ньютоновской механике вопрос о выборе типа пространства состояний и различении в физической модели самой системы и состояния системы.
- <sup>17</sup> Этот четко сформулированный в практике современной теоретической физики алгоритм прячется у Бора за утверждениями о “невозможности отделить поведение атомных объектов от взаимодействия этих объектов с измерительными приборами” и т.п. [4, с. 393, 32, 58]. Эти рассуждения страдают нечеткостью, ибо в них не раздвоятся НОИВ, конкретные значения измерений и процедуры измерения, физическая модель (“атомный объект”) и математическое представление (волновая функция).
- <sup>18</sup> Аналогичная процедура имеет место в ОТО, где исходное и конечное состояния (отвечающие П- и И- блокам схемы 2) формулируются для расположения масс и электромагнитных полей в привычных трехмерном пространстве и одномерном времени.
- <sup>19</sup> Там делается упор на “асимптотическом соответствии” классической и квантовой теории в области малых частот (больших квантовых чисел) [1, с. 165] в теории атомных спектров. При этом опираются на боровское “требование непосредственного перехода квантотеоретического описания в обычное в тех случаях, когда можно пренебречь квантом действия” [4, с. 66]. Но с 1925 г., с появления квантовой теории Гейзенберга, у Бора просматривается другая (И.С.Алексеев ее выделял как “соответствие “спектр-движение”” [1, с. 165]), близкая сформулированной нами выше “обобщенной”, трактовка принципа соответствия. Она проглядывает уже в продолжении приведенной “канонической” цитаты из работы 1930 г. и даже в работе 1925 г. [4, с. 22-23] и выполняет ту же функцию: заполняет последние лакуны квантовой теории (процесс перехода от “ранней” к “зрелой” формулировке можно проследить по [11, с. 116-23, 196-216]).
- <sup>20</sup> В изложении Дирака НОИВ прячется в паре утверждений: в сопоставлении “динамической системе” гамильтониана [8, с. 151] и в условии, чтобы “классический гамильтониан не содержал произведения множителей, квантовые аналоги которых не коммутируют между собой” [8, с. 156].

<sup>21</sup> Сравните, например, приведенную выше формулировку со статьей Стаппа “Копенгагенская интерпретация” [32]. “Логическая суть” последней “суммируется в следующих двух утверждениях: (1). Квантовомеханический формализм должен быть интерпретирован прагматически. (2). Квантовая теория обеспечивает полное научное описание атомных феноменов”. При этом у него нет даже упоминаний о перечисленных выше “четыре китах”. У Стаппа вообще нет теоретической физики, хотя есть волновые функции, которые “описывают эволюцию вероятностей реальных вещей, а не сами реальные вещи” [32, р. 1102].

## Литература

1. *Алексеев И.С.* Деятельностная концепция познания и реальности. М., 1995.
2. *Больцман Л.* Статьи и речи. М., 1970.
3. *Бом Д.* Квантовая теория. М., 1965.
4. *Бор Н.* Избранные научные труды. Т. 2. М., 1971.
5. *Борн М.* Размышления и воспоминания физика. М., 1977.
6. *Галилео Галилей.* Избранные труды. Т. 2. М., 1963.
7. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. М., 1989.
8. *Дирак П.* Принципы квантовой механики. М., 1979.
9. *Де Бройль Л.* Революция в физике (Новая физика и кванты). М., 1965.
10. *Де Бройль Л.* Останется ли квантовая механика индетерминистической? // Вопросы причинности в квантовой механике. М., 1955.
11. *Джеммер М.* Эволюция понятий квантовой механики. М., 1985.
12. *Клышко Д.Н.* // УФН. 1994. Т. 164, N 11. С. 1187-1214; УФН. 1988. Т. 154, N 1. С. 133-152.
13. *Легgett А.Дж.* Шредингеровская кошка и ее лабораторные сородичи // УФН. 1986. Т. 148, вып. 4. С. 671-688.
14. *Липкин А.И.* Галилеевская структура современной физики // XI Международная конференция. Логика, методология, философия науки. Т. VI. М.; Обнинск, 1995. С. 31-35. Он же. Permissible Boundaries in the Development of the Natural Sciences // Phystech Journal. 1994. Vol. 1, N 3. P. 85-96; Он же. О роли математических моделей в естественных науках // Математическое моделирование исторических процессов. М., 1996. Он же. Структура оснований физического знания в контексте научных революций: Дис. канд. филос. наук. М., 1994.
15. *Нейман фон И.* Математические основы квантовой механики. М., 1964.
16. *Паули В.* Физические очерки. М., 1975.
17. *Печенкин А.А.* Объяснение как проблема методологии естествознания (история и современность). М., 1989.
18. Принцип соответствия. Исторически-методологический анализ. М., 1979.
19. *Розин В.М.* Специфика и формирование естественных, технических и гуманитарных наук. Красноярск, 1989.

20. *Степин В.С.* Становление научной теории. Минск, 1976.
21. Структура и развитие науки. Из Бостонских исследований по философии науки. М., 1978.
22. *Фок В.А.* Критика взглядов Бора на квантовую механику // Философские вопросы современной физики. М., 1958.
23. *Шедровицкий Г.П.* О некоторых моментах в развитии понятий // Вопр. философии. 1958. N 6. С. 55-64.
24. *Шредингер Э.* Новые пути в физике. Статьи и речи. М., 1971.
25. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. М., 1987.
26. *Ballentine L.E.* Resource letter IQM-2: Foundations of Quantum Mechanics since the Bell Inequalities // Amer. J. of Physics. 1987. Vol. 55, N 9. P.785-792; The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics // Rev. Mod. Phys. 1970. Vol. 42. P. 358-381.
27. *Braginsky V.B., Khalili F.Y.* Quantum Measurement. Cambridge Univ.Press, 1992.
28. *DeWitt B.S.* Quantum mechanics and reality // Physics Today. 1970. Vol. 23, N 9. P. 30-35; 1971. Vol. 24, N 4. P. 36.
29. *Harre G.R.* Varieties of Realism: A Rationale for the Natural Sciences. Oxf., 1986.
30. *Margenau // Measurement, Definitions and Theotics.* N.Y.; L., 1959. P.163-176.
31. *Peres A.* What is a state vector? // Amer. J. of Physics. 1984. Vol.52. P. 644-650.
32. *Stapp H.P.* The Copengagen Interpretation. // Amer. J. of Physics. 1972. Vol. 40. P. 1098-1116.
33. *Van Fraassen Bas C.* The Scientific Image. Oxf., 1980.
34. *Wigner E.P.* Amer. J. of Physics. 1963. Vol. 31. P. 6.