

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский Государственный Университет»  
Институт философии  
Кафедра философии науки и техники

# Проблематика предметности в философских интерпретациях квантовой механики

Выпускная квалификационная работа  
студентки 4 курса  
Сухаревой Т.А.

Научный руководитель:  
Шиповалова Л.В.,  
доцент,  
доктор философских наук.

Рецензент:  
Мавринский И. И.,  
кандидат философских наук.

Санкт-Петербург

2016

## Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Теоретический минимум: принципы и проблемы .....	8
1.1. Проблема предметности.....	8
1.2. Принципы квантовой механики .....	14
Глава 2. Проблема наблюдения.....	24
2.1. Роль наблюдателя.....	25
2.2. Декогеренция.....	36
Глава 3. Проблема детерминизма.....	40
3.1. Причинность и детерминизм.....	40
3.2. Фундаментальное значение вероятности (индетерминизм квантовой механики).....	46
3.3. Индетерминированность.....	51
Глава 4. Проблема полноты.....	54
4.1. Скрытые переменные.....	54
4.2. Несепарабельность.....	56
4.3. Нелокальность.....	57
Заключение.....	59
Список литературы.....	61

## Введение

Проблема концептуального языка, в котором обретает определенность предметность научных исследований, долгое время не была актуальной для естественных наук, хотя в качестве значимой была определена уже логическими эмпириками. Казалось, что строгость базовых понятий науки свидетельствует о реализуемой научным знанием возможности универсального познания мира. Классическая картина мира математического естествознания<sup>1</sup> предполагала возможность предельно точного наблюдения различных областей природы, однозначного понимания характера ее действий, успешного выявления закономерностей, причинных связей и законов.<sup>2</sup> Наблюдение предполагало «подсматривание» за природой, а проведение экспериментов – ее «испытание», результаты которых ретранслировались на общем, доступном всякому разумному существу, естественнонаучном языке, не вызывающем проблем понимания. Трудности, конечно, всегда были возможны в получении данных, что было связано с несовершенством наших систем наблюдения: органов человеческих чувств, экспериментальной аппаратуры. Но сама формализация, передача и распространение результатов, собственно научный язык, не представлял собой серьезную проблему.

Требование предельной однозначности и точности от естественнонаучного языка объясняется самой задачей естественных наук: упорядочение многообразия явлений окружающего мира, их объяснение,

---

<sup>1</sup> Вводя такую конструкцию, которая будет значимой в данной работе, мы отсылаем к двум классическим философским текстам по этой теме: М. Хайдеггер «Время картины мира» и М.К. Мамардашвили «Классический и неклассический идеалы научной рациональности».

<sup>2</sup> «Понять природу — значит заглянуть в ее внутренние взаимосвязи, точно знать, что мы вникли в ее скрытые механизмы. Такое знание не дается осмыслением одного отдельного явления или одной отдельной группы явлений, даже когда мы открыли в них определенный порядок; оно достигается лишь тогда, когда мы устанавливаем широкие взаимосвязи, сводим к одному простому корню огромное множество опытных фактов. Ведь достоверность покоится как раз на их многочисленности. Опасность заблуждения становится тем меньше, чем богаче и сложнее рассматриваемые явления и чем проще тот общий принцип, к которому они могут быть сведены. Возможность со временем открыть какие-то еще более широкие связи не может служить возражением», - Гейзенберг В. Избранные философские работы: Шаги за горизонт. Часть и целое. / Пер. А.В. Ахутина, В.В. Библихина. // В. Гейзенберг. Язык и реальность в современной физике. – СПб.: Наука, 2005. С. 165

сведение к простым всеобщим принципам и языковым конструкциям, выражающим эти принципы.<sup>3</sup> Простота и всеобщность закона требует минимума понятий, но таких глубоких и четких, что из них должны быть выводимы и объясняемы все многообразные явления. Это в естественных науках достигается использованием строгих логических схем, в конечном счете – математических абстракций.

Более двухсот лет эталоном научной истины в физике выступала классическая механика Ньютона, безупречный понятийный аппарат которой не только не создавал препятствий, но наоборот лишь способствовал исследованию мира. Ситуация изменяется с появлением экспериментальных и теоретических открытий новейшей физики, в первую очередь, квантовой механики. Что же происходит?

Самое очевидное то, что изменяется тип исследуемого объекта. Квантовая механика исследует микромир, тогда как классическая механика занималась изучением закрытых систем и макрообъектов. В квантовой механике приобретает особое значение взаимодействие между изучаемым предметом и изучающим субъектом. В классической физике проблема взаимодействия объекта и прибора не стояла так остро, поскольку считалось, что воздействие прибора на систему теоретически можно свести к нулю (хотя практически погрешности и присутствуют). Воздействие же средства наблюдения на поведение элементарной частицы не учитывать нельзя, так

---

<sup>3</sup> Любопытный пример, относящийся к проблеме всеобщности языка науки, приводит Л. Дэстон в своей статье «Научная объективность со словами и без слов». Она пишет о расколе внутри научной объективности и коренящемся в ней противоречии – языке. Разделяя слои объективности на механический и коммутитарный, где первый слой предполагает культивацию языка как связующего звена между различными наблюдателями, разнесенных в пространстве и времени, а второй – отрицание языка, поскольку природа должна говорить сама за себя, она указывает на задачу К. Линнея по созданию единого, точного и универсального языка ботаники, подобного математике. Точное и объективное исследование природы предполагало ее «называние», «именование». Названия растений должны были отражать их достоверные признаки и поддаваться сообщению. «Ботаник – это прежде всего тот, кто не просто знает растения, а умеет их правильно называть» (см. *Дэстон Л. Научная объективность со словами и без слов // Наука и научность в исторической перспективе / Ред. Д. Александров, М. Хагнер. СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге, Алетейя, 2007. С. 53*). Это требовало от ученых обладания остротой органов чувств (зрением прежде всего) и владения искусством слова. Задача построения объективного научного языка для ботаники XVIII века была не менее важной, поскольку язык и отражал, конструировал и расширял объективное научное познание.

как из-за этого воздействия проистекают неожиданные результаты измерения и парадоксы квантовой механики. При этом понятия классической физики приобретают совершенно другое значение, а некоторые и вовсе совершенно теряют свой смысл и нуждаются в реабилитации. Квантовая механика требует пересмотра всех оснований физики, поиска новой онтологии, нового понимания предметности и, следовательно, нового языка.<sup>4</sup>

Итак, принципы классического естествознания, как некоторые общие положения («выведанные» у природы), «отражающие определенные общие черты совокупности множества экспериментально установленных фактов»<sup>5</sup> и предполагающие выведение частных следствий относительно природы, не работают в квантовой механике (или работают совсем иначе). Возникают новые принципы, которые проблематизируют научную предметность в силу того, что оказываются в сложном отношении с классическими принципами и сами определяют открываемую заново реальность неоднозначно. Реальность, понятая здесь как совокупность объективно существующих предметов и явлений природы, ставится под вопрос «благодаря» этим принципам. Ответом на эти проблематичные принципы (хорошо работающие, но с трудом понимаемые в своей работе) выступают многообразные интерпретации, проблему, однако, не снимающие.

**Цель** данной работы – проанализировать проблематику предметности квантовой механики: определить принципы и понятия, которые служат основанием понимания предметности, рассмотреть их в контексте различных интерпретаций, и, в конечном итоге, увидеть проблематику предметности

---

<sup>4</sup> «Характерной чертой современной физики является то, что она все глубже и глубже проникает в закономерности мира атомов и других мельчайших частиц материи. Закономерности эти требуют не только новой экспериментальной техники для своего обнаружения, но и новые понятия для своей формулировки. Для описания атомных явлений нужны новые методы, отличные от тех, какие применяются при изучении более крупных объектов внешнего мира», - Фок В.А. Об интерпретации квантовой механики. // Успехи физических наук. 1957. Т. LXII. вып. 4. С. 461

<sup>5</sup> Эйнштейн А. Физика и реальность. Принципы теоретической физики. // электронный ресурс. <http://www.philsci.univ.kiev.ua/biblio/Ejnchtejn-f-r.html> (дата обращения: 28.04.2016).

квантовой механики в свете специфики неклассической рациональности.

**Задачи**, последовательно решаемые для достижения этой цели, следующие:

- 1) Определить и проблематизировать понятие предметности в контексте неклассической научной рациональности, выявив вместе с тем основные принципы классической рациональности;
- 2) Обозначить основные проблемы современной (квантовой) физики, находящие свое непосредственное отражение в ее базовых принципах (с соответствующим разъяснением этих принципов);
- 3) Провести анализ основных проблем и их производных в контексте философских интерпретаций квантовой механики (проблема наблюдения, проблема детерминизма, проблема полноты);
- 4) Обнаружить границы решения данных проблем в контексте формализованного языка современной квантовой механики и определить направления возможного преодоления «конфликта интерпретаций».

Указанные задачи определяют и **структуру работы**, которая состоит из четырех глав, в первой из которых рассматриваются основные принципы классической научной рациональности, а также принципы, лежащие в основании понимания предметности в квантовой механике. При этом демонстрируется, что принципы квантовой механики содержат в себе проблемы, связанные с неоднозначным истолкованием предметности. Эта ситуация порождает попытки разрешения проблем в различных интерпретациях. Следующие три главы последовательно рассматривают три основных взаимосвязанных проблемы, связанные с пониманием предметности в квантовой механике – проблему наблюдения, детерминизма и полноты, а также представляют соответствующие интерпретации.

Данное исследование принадлежит **дисциплинарному полю философии науки**. Следует отметить, что в англоязычной традиции принято деление этого общего поля на эпистемологию науки и метафизику науки.

Эпистемология науки имеет дело с проблемами, возникающими в контексте науки вообще (проблема субъекта и объекта познания, классическая и неклассическая научная рациональность, и другие), тогда метафизика науки занимается вопросами общей метафизики (анализ причинности, вероятности, законов природы и так далее) в их пересечении со специфическими проблемами предметности конкретных наук.<sup>6</sup>

Данное исследование по преимуществу относится к полю метафизики науки. Потому основные тексты, которые послужили его **источниковой базой**, принадлежат самим ученым-физикам и представляют собой философские интерпретации как возможные решения проблем, относящихся к их собственной научной деятельности (Н. Бор, В. Гейзенберг, В.П. Бранский, В.А. Фок, А. Эйнштейн, Л. Сасскинд, М. Джеммер, А. Садбери, Л. Смолин и М.С. Лейфер и др.). В исследовании затрагиваются вопросы эпистемологии науки в той мере, в которой происходит обращение к базовым философским концептам (субъект, объект, рациональность, познание, реальность и др.).

**Актуальность** данной темы следует связать с пересечением контекстов философского осмысления проблем квантовой механики (метафизика науки) и определения способов современного (не классического) научного мышления (эпистемология науки). Очевидно, что работа с такими базовыми понятиями, как «предметность», «рациональность», «реальность», «объект», «наблюдение», «детерминизм» и др., а также с вопросом о границах научного языка в решении проблематики научной предметности, принадлежит к общим задачам философии науки, тогда как развитие самой науки может лишь актуализировать кризис концептуального научного языка, но не разрешать его.

---

<sup>6</sup> См. Об этом: Papineau D. Introduction // The Philosophy of Science (Oxford Readings in Philosophy) / by David Papineau (editor). – Oxford University Press 1996. P.1

## Глава 1. Теоретический минимум: принципы и проблемы

### 1.1. Проблема предметности

В рамках современной философии науки истолкование предметности задает определенность научного познания через то, на что это познание направлено; коль скоро при этом мы понимаем научное познание через его стремление быть *завершенным* (в объективированном знании) и *результативным*, *самотождественность* и *инвариантность* оказываются главной характеристикой его предмета. Однако предметность современных научных исследований часто оказывается в определенном смысле «размытой», «множественной», не однозначно определенной, поделенной между различными направлениями научных исследований, объединенных междисциплинарными проектами. Тому есть множество примеров, таких как адронный коллайдер, создание которого объединило усилия физиков-теоретиков, экспериментаторов, инженеров и представителей социальных наук, или квантовый компьютер, проблема создания которого касается также физиков, инженеров, программистов, математиков и даже философов. Таким образом, междисциплинарность исследований и отказ от монологизма классической рациональности<sup>7</sup> становятся существенными характеристиками современной предметности научного знания, проблематичными, однако, как представляется, в своей научной обоснованности.

Проблема эта обнаруживается, как нам кажется, в силу самой специфики предмета современной науки, которая переоткрывает (открывает новую) реальность и способы доступа к ней: сознание как предмет исследования, цитоплазматические частицы (Х.Й. Райнбергер), квантовомеханический микромир, космические объекты макромира. Потому, представляется необходимым обратиться к философскому истолкованию современной науки, а точнее к пониманию классического и неклассического

---

<sup>7</sup> Швырев, В. С. Рациональность как ценность культуры. Традиция и современность. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. С. 143-147

идеалов рациональности. При этом мы определим, в чем именно выражается проблематичное изменение объекта научного знания, какие классические черты он теряет, какие новые, неожиданные характеристики приобретает, является ли случайной междисциплинарность, помещая научный предмет в одновременность фокусов различных наук.

«Классический тип научной рациональности, центрируя внимание на объекте, стремится при теоретическом объяснении и описании элиминировать все, что относится к субъекту, средствам и операциям его деятельности. Такая элиминация рассматривается как необходимое условие получения объективно-истинного знания о мире»<sup>8</sup>, - такое определение классической рациональности дается российским философом науки В.С. Степиным. Классическая рациональность как «определенная онтология ума, наблюдающего физические явления (физические тела)»<sup>9</sup>, зарождаюсь еще в античности (хотя сам термин «рациональность» традиционно считается вошедшим в философский и научный язык в эпоху Нового времени). Она предполагает попытку человека выстроить относительно себя окружающий мир, сделав его миром для себя. В этом смысле феномен неклассической рациональности, связанный с необходимостью введения явлений сознания и человеческой жизни в самую научную картину мира, как бы удваивает задачу: нам словно надо снова вписать себя в мир – и это уже проблема.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> Степин В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. С.633

<sup>9</sup> Мамардашвили М.К., Соловьев Э.Ю., Швырев В.С., Калинин В.В. Классический и неклассический идеалы рациональности. Антология // Мамардашвили М.К. Классический и неклассический идеалы рациональности. М.: Азбука, 2010. С.9

<sup>10</sup> Имеется в виду то, что, выстраивая относительно себя мир сообразно с имеющимися инструментами научного познания (чтобы войти в отношения с миром, в конструктивный, как нам представляется, диалог), мы оказываемся в новом статусе в этом мире – в статусе субъектов науки. Но, несмотря на завещание Декарта обнаруживать и пестовать в каждом из нас универсального субъекта, мы все же остаемся при этом сознающими индивидуальностями, различными субъектами психической, обыденной, или какой-либо еще жизни. При этом возникает зазор, поскольку, во-первых, некоторые научные дисциплины работают с такими «не универсальными» сознаниями, а во-вторых, к предметности современных наук «примешиваются» такие сознательные явления (собственно квантовая физика), придавая квантовой предметности статус уникальных событий (конкретных ситуаций наблюдения). И эти новые странные научные предметы (своего рода гибриды) необходимо объективно оценить, поскольку мы претендуем на полноту познания. Таким образом, нам заново нужно «вписать» самих себя в уже выстроенный нами же научный мир, понять и отрефлексировать возникшее противоречие и убрать зазор между объективными физическими процессами и «внешними» им явлениями сознания.

Классическая наука стремится дать единое и полное описание действительности, свободное, независимое от наблюдателя и, в этом смысле, объективное. Неклассическая же рациональность своим нарушением основных заповедей классического новоевропейского научного мышления актуализирует и остро ставит вопрос о создании нового научного языка, пересмотре «старых» понятий и принципов, в которых определялась ранее предметность.

О каких же именно принципах и понятиях классической рациональности идет речь? Прежде всего, это понятие самого физического тела. В классической рациональности под ним понималось явление, *полностью пространственно выраженное в своем содержании*.<sup>11</sup> Иными словами, мы предполагаем, что явление может быть полностью представлено нашему пространственному наблюдению, так что мы можем в принципе сказать о нем все (выявить все его сущностные характеристики). В этом смысле пространственное тождественно объективному. В явлении, в объекте классической науки нет никаких внутренних или скрытых характеристик, непредставимых во внешнем наблюдении. Реальность, представляющая совокупность наблюдаемых явлений и предметов, таким образом, полностью может быть репрезентирована в соответствии с классической моделью познания, подчинена теоретическому концептуальному аппарату. Некоторые неточности знания о реальности (если таковые имеются) объясняются, как правило, техническими заминками в отношении измерительной аппаратуры и временными проблемами обеспечения соответствующих условий эксперимента. Отсюда следует то, что *пространственность тождественна материальности*,<sup>12</sup> понятой как опытная данность. Полностью

---

<sup>11</sup> Мамардашвили М.К. Классический и неклассический идеалы рациональности. С.13

<sup>12</sup> Отождествление, восходящее еще к Декарту. Однако непременно стоит оговориться, что мы прежде всего имеем в виду тезис Мамардашвили, соотносящий пространственность с материальностью. Но декартово понятие материального не совсем однозначно может быть соотнесено с нашим современным. Декарт различает две субстанции: мыслящую и протяженную (субстанция же определяется как то, что для своего существования ни в чем другом кроме себя самой не нуждается, и причиной имеет саму себя – *causa sui*). Самостоятельность протяженной субстанции выражается в том, что вещи могут существовать независимо от того, познаем мы их или нет. Мыслящей субстанции же – в том, что она может существовать независимо от

выражающиеся в пространстве, явления «взаимодействуют» с обозревающим их наблюдателем (аффицируя его или претерпевая воздействия, например, в эксперименте).

Итак, благодаря этому отождествлению мы, как потенциальные наблюдатели, можем испытывать воздействия мира, получая опытные данные. Физические тела, нами наблюдаемые, имеют полную пространственную развертку для внешнего наблюдения, в котором объективно обнаруживается, полностью выявляет себя сущность предмета. В основание такого понимания физических тел и явлений положена непосредственная и абсолютная данность сознания.<sup>13</sup> Сознание всегда рефлексивно, так как, определяя сознание, мы уже предполагаем самосознание. Благодаря рефлексивности сознания мы способны удерживать вместе сам предмет или явление (его содержание) и его сознавание (акт данности нашему сознанию). Рефлексивность сознания определяет и нашу *процедуру объективации*.<sup>14</sup> Объективация предполагает возможность отделения (в противоположность и дополнение удержанию вместе) некоторых содержаний сознания от состояний субъекта, как таких, которые

---

тела. Каждая индивидуальная душа при этом есть мыслящая субстанция. Протяженность (геометрическая измеримость) – сущностное свойство материи, в реальности которой мы можем убедиться путем декартовского доказательства (мы верим в протяженные вещи; эта вера проистекает от Бога, создавшего меня со способностью математического познания мира; Бог не обманщик, поскольку всемогущ; следовательно, протяженная (геометрически измеримая) материя истинно существует). Материя Декартом отождествляется с пространством, так как пространство лишь в нашем мышлении отличается от протяженной вещи, находящейся в этом пространстве. Отождествление, таким образом, природы (как совокупности всех *res extensa*) с пространственной протяженностью открывает возможность мыслить изучение природы как ее конструирование (с помощью актов мышления). (При этом мы не обсуждаем вопрос о правомерности приписывания статуса субстанций только двум видам вещей – *res cogitans* и *res extensa*. Строго говоря, для Декарта, статусом субстанции обладает Бог по преимуществу).

<sup>13</sup> Принцип абсолютной данности сознания опять же связывается с Декартом. *Cogito ergo sum* – исходное положение декартовской философии, где мышление является необходимым основанием бытия, а само бытие, соответственно есть свойство вещи мыслящей, следствие мышления. Вещь мыслящая – *res cogitans* – и есть «Я», но «Я» при этом понимается не в психологическом смысле, хотя философ и берет свое собственное «Я», как если бы оно было единственным существом вне мира, удостоверяющим достоверность бытия этого мира. Интуиция Декарта состояла в том, что мыслит всегда какой-то конкретный человек, но в результате этого мышления и самим этим мышлением выстраивается некий универсальный субъект вне времени и пространства, самоотжественный и являющийся в силу этого условием непрерывности осознаваемых событий. Свобода субъекта – в возможности обнаружить принцип достоверности «я» – *ergo cogito*, и далее работать над преодолением его индивидуальной, несовершенной природы, практикуя правильные способы мышления, дающие знание ясное и отчетливое в отличие от смутных показаний органов чувств.

<sup>14</sup> *Мамардашвили М.К.* Классический и неклассический идеалы научной рациональности. С.17-20

не зависят от этих состояний и происходят в действительности. Возможность объективации предполагает, что наблюдаемое субъектом событие сначала имеет место как воздействие некоторой «материи опыта» на восприятия субъекта, где он оказывается пассивным, определяемым через рецептивность, и только потом оно происходит повторно, уже активно воспроизводимое и контролируемое субъектом неограниченное число раз. (Именно в этом смысле *воспроизводимость научного опыта* при изучении предметности природы определяется как необходимая черта научного знания, определяемая в качестве таковой во многих классических эпистемологических текстах). Физическое знание в модели классической рациональности с необходимостью требует и включает воспроизводимость полученного опыта, что и обеспечивает декартовское правило трансцендентального «Я» (когито). Более того, оно является необходимым условием достоверного и объективного физического знания, так как помимо конструирования пространства непрерывного воспроизводимого опыта, оно задает и определенного самотождественного субъекта знания, которого обнаруживает в себе всякий конкретный субъект в момент познания. Находясь в любой пространственной точке, я могу воспроизвести этот опыт и вместе с этим воспроизвести одно общее сознание, очищенное от всего феноменального; свести данные этого опыта к автономному<sup>15</sup> трансцендентальному субъекту. Это и есть суть *классического понимания эксперимента* в естественных науках – эксперимент доказателен, если любой другой субъект в точке пространства наблюдения может его воспроизвести и получить тот же результат<sup>16</sup>. Эта воспроизводимость эксперимента и задает инвариантность научной предметности.

---

<sup>15</sup> Стоит еще раз подчеркнуть, что трансцендентальный субъект Декарта не совсем автономен, так как имеет причиной совершенную и всеблагою абсолютную субстанцию – Бога.

<sup>16</sup> Однако мы видим, что для того, чтобы воспроизводимое в этом опыте считалось объективным, то есть существующим независимо, сознание в определенном смысле должно быть рассмотрено как не автономное и самотождественное, но как подвергающееся воздействию. А само это воздействие, в определенном смысле формирующее субъекта познания оказывается уникальным, не воспроизводимым и не поддающимся формализациям классической научной рациональности.

Классическая научная рациональность, далее, понимает природу как единую систему, подчиняющуюся универсальным законам, а потому и как полностью «математизированную», посчитываемую. Мысль о единстве природы и возможности охватить ее единым взглядом выражает известный принцип лапласовского детерминизма: «Текущее состояние природы есть очевидный результат того, что имело место быть в предшествующий ему момент, и если мы представим некий Ум, который в данный момент охватывает все отношения сущностей в этой Вселенной, то будет также возможно определить для любого момента прошлого или будущего их соответственные положения, перемещения и в целом их расположение относительно друг друга».<sup>17</sup> Вероятность, по мнению Лапласа, не есть отсутствие причины явления в природе, она лишь знак того, что мы не имеем пока знания этой причины. Вероятность не имеет объективной реальности. Детерминизм, таким образом, понятый как утверждение о том, что любые процессы и явления природы обусловлены (определены) соответствующими причинными факторами по необходимости, случайности же имеют место в силу одного только нашего незнания этой необходимости, является гносеологической установкой классической рациональности. Природа подчинена постоянным законам, и задача ученого - открывать эти законы в исследуемых явлениях насколько это возможно, так как в этом состоит наша возможность познать закономерности природы.

Таким образом, в качестве базовых принципов классической рациональности могут быть названы следующие: принцип самоидентичности сознания, принцип данности предмета или явления в пространстве (все познаваемое пространственно артикулировано), принцип разделения субъекта и объекта научного знания, принцип непрерывности и воспроизводимости опыта, принцип единства предмета и «математизации» природы и принцип детерминизма.

---

<sup>17</sup> Цит. по: *R. Hahn. Pierre Simon Laplace, 1749-1827: A Determined Scientist. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2005. P.56*

**Под проблемой предметности** мы будем понимать такую ситуацию в современном научном познании, когда указанные принципы перестают быть очевидными, определенным образом изменяются или вовсе нарушаются. Мы, вслед за классиками отечественной эпистемологии, определяем такую ситуацию как возникновение современной или неклассической научной рациональности. Однако в контексте темы нашего исследования мы рассмотрим специфичную предметность, обнаруживающуюся в результате нарушения прежних принципов и неприменимости прежних понятий не в общем поле эпистемологии науки, но в конкретном пространстве метафизики науки, а именно на примере философских интерпретаций понимания предметности квантовой механики.

## **1.2. Принципы квантовой механики**

Наша задача состоит в том, чтобы продемонстрировать, что в принципах квантовой механики, которые задают специфику понимания научной предметности, уже содержится проблематичность или неоднозначность в понимании этой предметности, что с неизбежностью порождает необходимость многообразных интерпретаций. Эта неоднозначность обнаруживается, в частности, в том, что новый язык в некотором смысле противостоит языку классической механики, однако не может полностью от него отказаться.

В самом общем виде, согласно В.П. Бранскому, философские проблемы современной физики разделяются на две группы: *онтологические* и *гносеологические* или *эпистемологические*<sup>18</sup>. К первой группе относятся проблемы сущности физической реальности и ее атрибутов, а ко второй – вопрос о том, как мы познаем эту реальность с ее атрибутами.<sup>19</sup> К группе онтологических проблем можно отнести, во-первых, проблему измерения, в

---

<sup>18</sup> Мы употребляем здесь два этих понятия (гносеология и эпистемология), чтобы показать, что в определенном смысле они взаимозаменяемы. Концепт эпистемологии как теории познания чаще используем в англоязычной литературе, потому мы, следуя современным тенденциям, будем по преимуществу употреблять именно его.

<sup>19</sup> Бранский В.П. Философия физики XX века: итоги и перспективы. – СПб.: Политехника, 2002. С.11

результате которого измерительные приборы воздействуют на объект, и происходит «вторжение» в реальность объекта. Во-вторых, к таким проблемам можно отнести проблему нелокальности (связанную со структурой гильбертова пространства); эта проблема связана с нарушением принципа локальности, утверждающего, что на объект влияет его непосредственное окружение (при явлении квантовой запутанности состояния нескольких объектов оказываются взаимозависимыми и эта зависимость сохраняется при разнесении объектов в пространстве за пределы известных взаимодействий (ЭПР-эксперимент и неравенства Белла связаны с данной проблемой). В-третьих, речь может идти о принципе неопределенности и принципе дополнителности (интерпретативный принцип, легший в основу копенгагенской интерпретации проблематики предметности квантовой механики)<sup>20</sup>.

К гносеологическим проблемам можно отнести следующие. Проблема реальности квантового объекта, связанная с зависимостью измерения от наблюдателя, делающая в очередной раз актуальным вопрос о том, существует ли реальность только в нашем знании или же она независима от нас. Проблема реальности математических абстракций квантовой механики (волновая функция, Гильбертово пространство, операторы); проблема природы квантовой вероятности (наличие объективной случайности в природе). Ориентируясь на перечисленную проблематику, попробуем теперь описать базовые принципы квантовой механики. Подчеркнем еще раз, что определяемые ниже принципы присутствуют во всех интерпретациях, более того, в формулировке некоторых принципов уже скрытым образом содержатся конкретные интерпретации.

Эти *принципы* представляют собой своего рода математический базис квантовой механики, задающий понимание предметности в ней.

---

<sup>20</sup> Обратив внимание на последние две проблемы, мы наиболее отчетливо понимаем, насколько в квантовой механике невозможно отделить проблемы онтологические от проблем, которые носят эпистемологический характер. Это подозрение усиливается, когда мы переходим к перечислению гносеологических проблем.

*Интерпретации* же начинаются и определяются стремлением понять физический смысл этих абстракций.

1) Квантовая физика отличается от классической своими математическими абстракциями. Понятие «состояния системы» присутствует как в первой, так и во второй, но смысл в него вкладывается разный. Состояние системы в классической физике предполагает наличие набора значений переменных, характеризующих систему (или объект) в данный момент времени. Уравнение движения детерминирует эволюцию состояния системы во времени. Пространство состояний классической системы - это математическое множество. В классической механике состояние описывается точкой в фазовом пространстве, где фазовое пространство – это такое пространство, где представлено множество всех состояний системы, и каждому возможному состоянию соответствует определенная точка фазового пространства. Состояние же квантовой системы описывается вектором в абстрактном векторном (гильбертовом) пространстве. Векторное пространство – это множество абстрактных математических объектов, именуемых векторами, и для которых определено две простых и вместе с тем необходимых операции – умножение на число (в квантовой механике – на комплексное число) и сложение двух векторов, что в обоих случаях ведет к получению новых векторов (из этого же пространства). Иными словами, если у нас есть вектор, описывающий одно состояние, и другой вектор, описывающий другое состояние, то их сумма будет описывать возможное состояние системы. Такое положение дел в корне отличается от классического описания, в котором не имеет смысла говорить о сумме состояний. Классическая физика позволяет говорить о точных значениях физических величин в данном состоянии, в квантовой же физике мы можем говорить о вероятности получить то или иное значение. Чистое квантовое состояние описывается волновой функцией (волновая механика Шрёдингера) или вектором состояния (матричная механика Гейзенберга), и математически

эти описания эквивалентны.<sup>21</sup> Чистое или простое квантовомеханическое состояние системы соответствует полной информации о системе и может быть описано одним вектором состояния (волновой функцией). Последнее возможно только в том случае, если система замкнута и не взаимодействует с окружением (то есть отсутствуют любого рода корреляции системы с ее окружением: классические, квантовые (нелокальные корреляции или запутанности)). В противном случае придется учитывать волновые функции окружения. Кроме того, что замкнутость есть необходимое условие чистого состояния, это также и достаточное условие, поскольку очевидно, что вся информация для описания системы находится в ней самой (вектор состояния системы). Следовательно, чистое состояние и замкнутая система в квантовой механике суть одно и то же. В отличие от чистого смешанное состояние невозможно описать волновой функцией, оно описывается матрицей плотности, называемой также статистическим оператором. В смешанном состоянии не задан полный набор независимых физических величин, определяющих состояние системы, а даны лишь вероятности нахождения системы в различных квантовых состояниях. Очевидно, здесь перед нами встает *проблема реальности квантовых объектов* (с помощью концепта «состояние системы» должен быть, но, однако не может быть однозначно определен предмет квантовой механики), доступ к которой существенно ограничен нашими возможностями. Более того, парадоксально, что в числе наших возможностей имеется блестящий математический аппарат, который позволяет нам отлично работать с некоторыми состояниями, не позволяя, однако, понимать их (в смысле возможности указания однозначного реального коррелята). Так, речь идет о состоянии суперпозиции, являющемся примером чистого состояния, физический смысл которого пока не доступен мыслящему в рамках классической рациональности сознанию.

---

<sup>21</sup> Собственно, они и являются примерами конкретной реализации абстрактных векторов, о которых говорилось выше.

2) *Принцип квантовой суперпозиции* предполагает наличие взаимоисключающих состояний системы, которые не могут быть реализованы одновременно (с точки зрения классической физики). Квантовый объект может находиться одновременно в нескольких физически различных (то есть различных посредством одного эксперимента) состояниях. Речь идет о линейности пространства в квантовой механике. Так, если одно из состояний классической точечной частицы описывается ее нахождением в точке А, а другое ее состояние – нахождением в точке В, то смысла спрашивать о сумме таких состояний нет. Смысл же для квантовой частицы есть. Ибо если мы имеем состояния  $\Psi_A$  и  $\Psi_B$ , то сумма этих двух состояний будет показывать новое состояние, то есть состояние, в котором частица не имеет определенной локализации и находится одновременно в обеих точках. Такие состояния именуется суперпозицией состояний. Примечательно, что здесь не идет речь о некоторой неопределенности в математическом плане, поскольку мы знаем (или можем знать) все о таких состояниях, и в этом смысле они очень даже определены. *Проблема*, повторим, состоит именно в понимании физического смысла этой квантовой реальности, поскольку в классической повседневной реальности принцип суперпозиции не выполняется (в силу того, что не имеет смысла в ней).

3) Исходя из различных пониманий состояния системы, различается и логика суждений, применяемых в квантовой и классической механике.<sup>22</sup> Логика теории множеств – булева логика, являющаяся формализованной версией классической логики суждений. Следуя этой логике, мы имеем однозначно определенные значения суждений: истина или ложь, где *tertium non datur* – третьего не дано. В квантовой механике эта логика неприменима, так как при проверке квантовых суждений мы можем получить в 50 % случаях (например) значение истины и в других 50 % – лжи (то есть речь идет о вероятностном характере суждений). Такой результат – не ошибка

---

<sup>22</sup> Более подробно о квантовой логике можно посмотреть здесь: Меськов В.С. Очерки по логике квантовой механики. М.: Издательство Московского университета, 1986. – 142 с.

хода рассуждений, но объективная характеристика квантовых состояний.<sup>23</sup> Также стоит отметить еще одну важную ситуацию в квантовой логике: суждение «А или В» и «В или А» могут иметь различные степени вероятности истинности. Например, «А или В» может быть всегда истинным, тогда как суждение «В или А» может оказаться ложным в 25 % случаев (такая ситуация реализуется при измерении спина частицы по двум перпендикулярным осям). То есть истинность суждения может зависеть от порядка проверки (способа формулировки) этого суждения.<sup>24</sup> То есть, формулируя принцип вероятности в квантовой механике, мы сталкиваемся с *проблемой природы квантовой вероятности*, непосредственно обнаруживаемой в эксперименте, и с которой также связан следующий принцип – относительности к средствам наблюдения.

4) Классическая физика при описании физического явления принимает две абстракции: абсолютизацию понятия и детализацию описания физического процесса. Первая абстракция предполагает независимость существования явления от условий его наблюдения, физический процесс рассматривается как нечто происходящее само по себе. Вторая абстракция предполагает возможность максимально точного и всестороннего описания физического явления, где мы можем уточнять измерение посредством наблюдения разных сторон одного и того же процесса, избегая при этом нарушения самого процесса. Эти два положения связываются с классическим лапласовским детерминизмом и предположением о том, что ограниченные физические системы в классической механике однозначно детерминированы (за исключением статистической физики, где оправдано введение вероятностей).<sup>25</sup> Свойства микроскопических объектов, изучаемых квантовой механикой, познаются в результате анализа взаимодействия объекта и прибора, работающего в определенных физических условиях и их

---

<sup>23</sup> Сасскинд Л, Фридман А. Квантовая механика. Теоретический минимум. / пер. с англ. А. Сергеев. СПб.: Питер, 2015. С.31-39

<sup>24</sup> Там же, С. 36-38

<sup>25</sup> Фок В.А. Квантовая физика и строение материи. Изд. 2-е, испр. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. С.14-17

создающего. Вводится, таким образом, «понятие относительности к средствам наблюдения».<sup>26</sup> Вероятности, наблюдаемые в квантовой механике, отражают объективно существующие в данных условиях потенциальные возможности тех или иных состояний объекта.

5) В классической физике наблюдаемые (общепринятый термин, означающий физические величины, которые можно измерить) являются функциями, определенными на фазовом пространстве системы. Это означает, что мы можем знать значения всех наблюдаемых одновременно. В квантовой же механике измеряемые величины квантового объекта представляются линейными самосопряженными (эрмитовыми) операторами в гильбертовом пространстве. При этом эти операторы действуют не на физические системы, а на математические абстракции – векторы состояния.<sup>27</sup> Как связанную с этим математическим принципом можно отметить *проблему нелокальности*, поскольку она возникает в силу специфики гильбертова пространства, и связанной с этим *проблему неполноты* (речь об этих проблемах более подробно пойдет в следующих главах).

б) Из операторной природы наблюдаемых следует принцип неопределенности квантовой механики (обобщенный вариант принципа неопределенности Гейзенберга). Он говорит нам о невозможности одновременного знания точных значений некоторых физических величин в квантовой системе. Традиционный пример этой неопределенности – принцип неопределенности Гейзенберга, гласящий о том, что мы не можем одновременно и точно определить координату и импульс частицы. Обобщенный принцип неопределенности относится к любым некоммутирующим (когда коммутатор двух операторов не равен нулю<sup>28</sup>) наблюдаемым и невозможности измерить их одновременно. Некорректно, однако, пожалуй, говорить о неполноте нашего знания в данном случае,

---

<sup>26</sup> Там же, С.27-30

<sup>27</sup> Сасскинд Л., Фридман А. Квантовая механика. Теоретический минимум. С.92, С.104; Гриб А.А. К вопросу об интерпретации квантовой физики. // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. №12. С. 1338

<sup>28</sup>  $A \times B \neq B \times A$ , где  $A$  и  $B$  - операторы

поскольку полнота знания о системе в классической механике не то же самое, что полнота знания о квантовой системе. Так как в первом (классическом) случае зная состояние системы (точку в фазовом пространстве), мы знаем значения всех наблюдаемых, а в квантовой механике же, зная вектор состояния, мы знаем только возможные значения наблюдаемых вместе с их вероятностями. Хотя в каком-то смысле знание и представляется неполным, но в силу, опять же, *специфики самой квантовой реальности*.

7) Эволюция волновой функции  $\Psi$ , описывающей квантовое состояние, представляется детерминированной согласно зависящему от времени уравнению Шрёдингера. Однако при наблюдении происходит явление, именуемое коллапсом волновой функции или редукцией волнового пакета, когда во время измерения вектор состояния «схлопывается» в одно из собственных состояний наблюдаемой, подвергаемой измерению. Исход эксперимента (какое из состояний будет получено в результате) в каждом конкретном случае неизвестен, но он успешно предсказывается статистически. Проблематичным здесь является, во-первых, то, что один (квантовый) объект описывается двумя и при том противоречивыми, не согласующимися друг с другом законами, что опять же говорит о невозможности совладать с *объективной и независимой реальностью* (вероятностной по своей природе) *квантового мира*, и во-вторых, это *проблема измерения и наблюдателя*, а именно его разрушительное взаимодействие, переводящее микроскопический мир на язык макроскопического мира (с необходимостью).

8) Принцип корпускулярно-волнового дуализма<sup>29</sup> предполагает, что в квантовой механике объект может проявлять и свойства волны, и свойства частицы (двухщелевой эксперимент). «Можно сказать, что для атомного

---

<sup>29</sup> С весьма содержательным историческим очерком по корпускулярно-волновому дуализму можно ознакомиться здесь: Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики: Пер. с англ. / Под ред. Л.И.Пономарева. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1985. С.160-168

объекта существует потенциальная возможность проявлять себя, в зависимости от внешних условий, либо как волна, либо как частица, либо промежуточным образом. Именно в этой потенциальной возможности различных проявлений свойств, присущих микрообъекту, и состоит дуализм волна — частица. Всякое иное, более буквальное, понимание этого дуализма в виде какой-нибудь модели неправильно».<sup>30</sup> Здесь вновь имеется *проблема реальности квантового объекта*, вероятностной и двусмысленной по своей природе, неопределенной в этом смысле для нас (хотя и определенной математически).

Таков краткий перечень главных и вместе с тем проблематичных принципов квантовой механики. Нетрудно заметить, что больше всего в нем фигурировала проблема квантовой реальности (как независимого существования) в целом. По сути, все остальные проблемы вторичны и производны по отношению к ней. Квантовомеханическая реальность проблематична как на уровне онтологическом, потому как мы до сих пор не имеем возможности говорить о законченной и полной новой неклассической онтологии квантового мира, так и на уровне эпистемологическом, поскольку в силу недоступности и непознанности (на уровне физического сущностного смысла) этой реальности, мы испытываем затруднения при работе с ней, несмотря на имеющийся превосходный аппарат (в этом смысле «математизация» природы, характерная для классической модели, сохраняется: мы можем посчитать эту неизвестную реальность, но за этими математическими абстракциями не усматриваются ясно и отчетливо данные нам физические сущности. В частности, поэтому и встает вопрос о статусе этих математических абстракций — к чему их относить: к объективно существующей реальности или же к нашему знанию о ней, имеющему неполный характер).

---

<sup>30</sup> Фок, В.А. Об интерпретации квантовой механики / В.А. Фок // Успехи физических наук. 1957. — Т. LXII. — вып. 4. С. 466

Раскрывая интерпретации (возможные решения проблем) предметности квантовой механики, мы сначала остановимся на проблеме **наблюдения** и ряде вторичных проблем, вытекающих из нее. Вторым блоком мы выделяем проблему **детерминизма**, как такого понятия, которое прежде было способно объяснять природу и держать ее под контролем нашей познавательной установки и которое теперь нуждается в переопределении, а возможно, и в устранении из новой модели в силу своей неприменимости. Наконец, мы выделяем проблему **полноты** квантовой механики, как связанную с работоспособностью квантовой теории (объясняющая и предсказательная способность). Очевидно, три эти крупные проблемы связаны между собой, поскольку все они имеют дело и могут быть рассмотрены как своего рода модусы проблемы неопределенного характера квантовой реальности. Эта неопределенность имеет свое выражение в невозможности объяснить и достаточным образом научно описать эту реальность на концептуальном языке классической рациональности и отсутствием нового, адекватного языка, удовлетворяющего особенностям этой реальности и раскрывающего их.

## Глава 2. Проблема наблюдения

В самом общем виде проблема наблюдений может быть сформулирована следующим образом. То, что мы видим, то, что мы исследуем – предметность науки – непосредственным образом связано (и это становится очевидным не только для философии в ее трансценденталистском изводе, но и для самой науки) с тем как мы смотрим, с нашими способами, установками, средствами наблюдений и исследования в целом. В конечном итоге эта проблема сводится к невозможности мыслить объект современной науки объективированным образом, то есть не учитывать, что он в качестве объекта есть данность. Проблема наблюдений в квантовой механике центральным своим пунктом имеет проблему измерения или относительность приборов к средствам наблюдения (Фок).

Проблема измерения имеет довольно долгую и богатую историю. Роль измерения заключается в преобразовании квантовых состояний и квантовых корреляций в классические, полностью определенные исходы. Потому сложность проблемы измерения состоит, прежде всего, в том, что необходимо совместить классический и квантовый взгляды на мир, что совсем не просто в силу качественных различий между этими двумя картинами физических явлений. Самым затруднительным моментом здесь, пожалуй, является наличие принципа квантовой суперпозиции, для которой нет аналога в классическом мире, но который (принцип) значим в мире квантовом. С первым и весьма широко распространенным объяснением выступили, решая эту проблему, сторонники копенгагенской интерпретации, хотя, пожалуй, нельзя сказать, что оно увенчалось успехом (ниже мы подробнее рассмотрим различные подходы, существующие в контексте копенгагенской интерпретации). Одним из последних подходов к решению измерительной проблемы (имеющим успех, но, при этом, сохраняющим

некоторые вопросы нерешенными) является теория декогеренции.<sup>31</sup> Явление декогеренции квантовой системы представляет собой «процесс, ведущий к появлению у этой системы классических черт и к записи информации о системе в окружающей среде».<sup>32</sup> То есть декогеренция происходит в результате взаимодействия системы с окружающей средой (при этом неважно, происходит это намеренно или нет), после чего состояние системы каким-то образом влияет на состояние среды (а именно фиксируется в определенных состояниях среды), а значит, наблюдая состояние среды, мы можем получить некоторую информацию о состоянии системы. Очевидно в таком случае, что процесс измерения системы наблюдателем с помощью макроскопических приборов – это частный случай декогеренции, явления, на котором мы подробнее остановимся во втором параграфе данной главы.

## 2.1. Роль наблюдателя

Одним из наиболее важных и проблемных различий между квантовой механикой и классической механикой является особая роль наблюдателя<sup>33</sup>, выполняющего эксперимент над квантовой системой.<sup>34</sup> При этом существенны несколько проблем. Во-первых, такое «вторжение» с

---

<sup>31</sup> Zurek, W.H. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical [Electronic resource] / W.H. Zurek // *Reviews of Modern Physics*, vol. 3, (2003) pp 1 – 60. URL: <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0105127v3.pdf> (дата обращения: 21.04.2016); Зурек, В. Декогеренция и переход от квантового мира к классическому (с добавлениями автора) // электронный ресурс. [http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/zurek\\_dekogerencia.pdf](http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/zurek_dekogerencia.pdf) (дата обращения: 21.04.2016).; Zeh, H.D. Decoherence: Basic Concepts and Their Interpretation // electronic resource. <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/9506020v3.pdf> (дата обращения: 21.04.2016)

<sup>32</sup> Менский, М.Б. Явление декогеренции и теория непрерывных квантовых измерений / М.Б. Менский // *Успехи физических наук*. 1998. – Т. 168. – №9. С. 1017

<sup>33</sup> Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. – М.: Мир, 1989. С.254-256

<sup>34</sup> «Основное различие между квантовыми и классическими состояниями состоит в том, что объективное существование последних может считаться доказанным. Т.е. классическое состояние какой-либо системы может быть просто "установлено" наблюдателем, не знающим заранее никаких характеристик этого состояния. Напротив, квантовые состояния кажутся по меньшей мере "расплывчатыми" – для наблюдателя в принципе невозможно выявить неизвестное квантовое состояние, не разрушив его. Исключения из этого правила имеют место только в тех случаях, когда наблюдатель заранее знает, что неизвестное состояние представляет собой одно из собственных состояний некоторой определенной наблюдаемой. Тогда и только тогда неразрушающее измерение этой переменной может быть предусмотрено так, что другой наблюдатель, который знал исходное состояние, не заметит никакого возмущения при выполнении подтверждающего измерения», – Зурек, В. Декогеренция и переход от квантового мира к классическому (с добавлениями автора). С. 23.

необходимостью изменяет свойства системы (разрушает ее).<sup>35</sup> Во-вторых, что более важно, эти изменения системы также регламентируются фундаментальными постулатами теории. Существует, таким образом, два разных закона, детерминирующих изменение системы. Первый – это уравнение Шредингера, определяющее поведение системы до проведения над ней какого-либо эксперимента по измерению физической величины. И потому здесь вполне легитимна классическая «детерминированность» системы, поскольку, имея знание о ее начальном состоянии, можно получить однозначное знание о ее будущем состоянии. Вторым законом является проективный постулат фон Неймана<sup>36</sup>, который уже относится к состоянию системы во время проведения над ней измерений. Второй постулат имеет вероятностную природу и описывает непредсказуемые изменения системы, обнаруживающиеся в ходе измерения. Парадоксально и проблематично при этом то, что один физический объект (квантовый в данном случае) описывается двумя несовместимыми и даже в определенном смысле противоречащими друг другу законами. Стремление каким-то образом связать эти два закона и, соответственно, объяснить волновую функцию порождает различные интерпретации.

В связи с этим противоречием законов, описывающих эволюцию одного объекта, возникает весьма проблематичная ситуация, с которой фундаментальная физическая теория не может смириться: вполне рационально требовать, чтобы и система, над которой проводится эксперимент, и сам процесс измерения подпадали под действие уравнения Шредингера, коль скоро и тот, и другой являются физическими системой/процессом (ведь предположительно они должны выступать

---

<sup>35</sup> Здесь стоит отметить, что и в классической физике наблюдение включает в себя взаимодействие между измерительным прибором и наблюдаемой системой, однако, этим взаимодействием можно пренебречь, поскольку в силу создания идеальных (и в этом смысле полностью контролируемых наблюдателем) условий эксперимента оно незначительно и на результат качественным образом не влияет.

<sup>36</sup> Данный постулат гласит, что при измерении (предполагающем взаимодействие измеряемой системы и прибора) происходит редукция состояния системы, определяемой волновой функцией, иначе говоря – происходит неизбежный коллапс волновой функции, при котором из всех альтернатив, входящих в состояние системы в качестве компонент суперпозиции, остается лишь одна.

элементами единой реальности). Или необходимо определить (и объяснить в физических терминах) отличие физического процесса, являющегося экспериментом по измерению физической величины, того, что управляющегося проективным постулатом, от физического процесса, управляющегося уравнением Шредингера? Рассмотрим различные ответы на эту проблему в рамках копенгагенской интерпретации.<sup>37</sup>

*Копенгагенская интерпретация* считается ортодоксальной интерпретацией квантовой механики, и заслуга в ее создании принадлежит в основном Н. Бору, а также И. фон Нейману, В. Гейзенбергу. Центральный пункт данной интерпретации в самом общем виде следующий: мы можем знать только результаты измерений как нечто реальное (именно они единственным образом оказываются реальностью для нас). Налагается запрет на вопрос о сущности явления до его фактического наблюдения. Словами Дж. Уиллера, ученика Бора, создавшего свою интерпретацию в контексте копенгагенской: «Никакой квантовый феномен не является феноменом, пока он не является наблюдаемым (регистрируемым) феноменом». Говоря философским языком, речь идет о принципе феноменализма, согласно которому человеческое познание сталкивается не с реально существующими, независимыми от человеческого сознания предметами, но всегда лишь со следствиями восприятий, их репрезентирующих. («Esse est percipi» Дж. Беркли – «Быть значит быть воспринимаемым»). Такая реальность есть (в контексте копенгагенской интерпретации) единственная доступная человеку, и вне о другой нет смысла говорить.

#### 1) Тезис Н. Бора

Существенным элементом копенгагенской интерпретации считается деление мира на квантовые объекты, описываемые квантовой физикой, и приборы, описываемые классической физикой, при этом каждый тип

---

<sup>37</sup> Прекрасный исторический и содержательный очерк по копенгагенской интерпретации здесь: *Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики*. С. 313-348

объектов имеет свои законы развития. (Н. Бор). Результаты измерения описываются классическим языком и аппаратом классической логики.<sup>38</sup> Квантовая механика применима только к микроскопическим системам, то есть много меньшим объектам, чем используемый для измерения прибор. Прибор всегда есть макроскопический объект, свойства которого непосредственно могут восприниматься экспериментатором, и он всегда должен описываться классической механикой. Уравнение Шредингера же, как и проективный постулат, применимы только к микроскопическим квантовым системам (причем последний имеет место только в процессе взаимодействия квантовой системы с макроскопическим прибором). Однако, закономерным является следующий из этого ответа вопрос: а как, собственно, точно установить причастность объекта к квантовому или классическому миру? С таким же успехом можно рассматривать макроскопический объект – прибор, в данном случае – как состоящий из микроскопических частиц, следовательно – как относящийся к квантовому миру тоже.

Проводя мысленный эксперимент, сопровождаемый рядом математических вычислений, Садбери, выясняя отношение между проективным постулатом фон Неймана и уравнением Шредингера и применяя уравнение Шредингера к комбинированной системе (прибор + объект), получает, что проективный постулат применяется только к микрообъекту.<sup>39</sup> Это доказывает необходимость применения проективного

---

<sup>38</sup> «...необходимость такого рода разграничения и составляет принципиальное различие между классическим и квантовомеханическим описанием явлений. Правда, в пределах каждого измерительного процесса мы можем провести эту границу по желанию, в том или ином месте; выбор места определяется как в классическом, так и в квантовом случае главным образом соображениями удобства. Однако в то время как в классической физике выбор того или иного места для границы между объектом и измерительным прибором не связан с какими-либо изменениями в характере описания изучаемых физических явлений, в квантовой теории он влечет за собой изменения в этом описании. Фундаментальная важность различия между объектом и прибором в квантовой теории обусловлена, как мы видели, тем, что для толкования всех измерений в собственном смысле слова необходимо пользоваться классическими представлениями, несмотря на то, что классическая теория не может сама по себе объяснить тех новых закономерностей, с которыми мы имеем дело в атомной физике». Бор Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание реальности полным? // Бор Н. Избр. Научн. Труды / Н. Бор. М.: Наука, 1971. Т.2. С. 189-190

<sup>39</sup> Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. С. 256-257

постулата и, как следствие, неизбежность разделения квантового и классического миров; при этом совершенно неважно, где проводить эту границу: в приборе, в сетчатке глаза наблюдателя, в его мозгу или сознании (и вот это последнее вызывает интересные предложения и дискуссии, к которым мы обратимся ниже). Мы не можем, взаимодействуя с системой (что необходимо для получения экспериментальных результатов), обойтись только уравнением Шредингера, то есть оставаться незаинтересованным, не вмешивающимся оператором в этом процессе. Таким образом, наличие границы между реальностями (описываемыми различными закономерностями физической науки) остается в качестве проблемы.

Квантовая физика признает принципиальную ограниченность применения классических понятий к микрообъектам. С этим связан *интерпретативный принцип дополненности*, сформулированный Бором и направленный на решение проблемы дуализма реальности, из которого следует, что для полного описания объектов квантовой механики с необходимостью должны использоваться два взаимоисключающих набора понятий, каждый из которых применяется в отдельных условиях, но вместе они воспроизводят целостность данных объектов.<sup>40</sup> Отличительное свойство прибора в том, что с ним наблюдатель измеряет только коммутирующие наблюдаемые, дающие информацию о каком-либо свойстве квантового объекта, несмотря на то, что сам прибор состоит из квантовых объектов.

Результаты измерения (собственные числа операторов) получаются при взаимодействии объекта с прибором, при этом прибор описывается классически (в числах), а квантовый объект – операторами (математическими абстракциями). Объект до измерения не характеризуется числом, а находится в состоянии «объективной неопределенности» (объективной в том смысле, что эта неопределенность не результат нашего незнания, а сущностное

---

<sup>40</sup> Сложно, однако, на наш взгляд сказать, что данный принцип снимает проблему корпускулярно-волнового дуализма (проблему двойственности квантовой реальности). Он позволяет работать с ней и получать эффективные результаты («shut up and calculate»), но физический смысл все так же остается не схваченными до конца.

свойство объекта), описываемой операторами.<sup>41</sup> Волновая функция описывает отношение прибора и объекта, учитывая при этом и то, и другое, т.е. волновая функция определяется вместе с прибором. Волновая функция может изменяться в двух вариантах: 1) непрерывно эволюционировать согласно уравнению Шрёдингера; 2) «схлопываться» в одно из возможных состояний в процессе измерения – редукция волнового пакета. Проблемы начинаются в связи со вторым вариантом, когда встает вопрос о реальности волновой функции. Н. Бор настаивал на понимании волновой функции лишь как математического инструмента, необходимого для расчета вероятности, поскольку квантовая механика полна и все, что мы можем предсказать – это результаты физических опытов.

Проблемы, однако, остаются. Во-первых, как уже было отмечено, это проблема самой квантовой реальности, которая остается все также недоступной, поскольку нам неясен смысл (единство ее определенности) этой реальности, и работая с которой, однако, мы можем получить весьма определенные и эффективные результаты – в виде знания о ней. Мы имеем о ней такие весьма определенные и полные знания лишь в математическом аспекте, но не в физическом. Иначе говоря, мы можем с ней работать, но не можем понять (то есть помыслить ее в рамках структур привычного нам повседневного классического мира).

Во-вторых, это проблема, связанная с самой интерпретацией. Известно, что на Н. Бора оказали влияние труды по философии и психологии известного прагматиста У. Джемса.<sup>42</sup> Так, несложно заметить в интерпретации Бора прагматистский принцип Джемса: «нам нужна такая теория, которая будет работать». В действительности, мы имеем здесь такое понимание научной теории, которое сводится к ее результативности. Принцип дополнительности работает, как и законы, детерминирующие эволюцию системы, но не объясняет ее физический смысл. Успешные

---

<sup>41</sup> Гриб А.А. К вопросу об интерпретации квантовой физики С. 1340

<sup>42</sup> Джеммер, М. Эволюция понятий квантовой механики. С. 178-180

предсказания теории – это все, на что мы можем рассчитывать. Кажется весьма справедливым, что такая точка зрения весьма ограничена (хотя и, безусловно, имеет свою огромную практическую и теоретическую ценность), поскольку мы получаем интерпретацию, которая не интерпретирует, а редуцирует физический смысл к конкретным практическим результатам.<sup>43</sup>

## 2) Тезис фон Неймана

Достаточно популярным и широко обсуждаемым оказалось предложение (фон Нейман) разделять квантовый и классический мир, различая тело и сознание человека.<sup>44</sup> Так, вектор состояния применяется к полной системе, состоящей из объекта, прибора и мозга (физической оболочки наблюдателя), а проективный постулат применим тогда, когда наблюдатель узнает о конкретном состоянии своего мозга – результате измерения. Фон Нейман, таким образом, связывает редукцию волнового пакета с сознанием наблюдателя. Любой прибор состоит из квантовых микрообъектов, так что к нему применимы законы квантовой механики. И любой прибор также можно считать продолжением органов чувств наблюдателя. Граница «прибор-объект» с легкостью переносима на так называемой цепочке фон Неймана (прибор, наблюдатель, сетчатка глаза, сознание наблюдателя). Мы можем рассматривать в целом прибор вместе с наблюдателем и наблюдаемый объект. Коллапс волновой функции при измерении происходит. Почему он происходит – неясно. Предположим, что

---

<sup>43</sup> Примечательна в этом отношении недавняя статья Ли Смолина, известного современного физика, «Lessons from Einstein's 1915 discovery of general relativity» (2015). В ней автор развенчивает миф о том, что Эйнштейн создал общую теорию относительности, следуя красоте математических уравнений, а не физической интуиции. Миф этот, следует отметить, идет от самого Эйнштейна, поскольку ему не удалось открыть новые и значимые физические принципы, способствующие в дальнейшем созданию «единой теории всего». После 1973 года большая часть ученых движется именно по этому пути: основываясь на эстетике математики, создают математически красивые, абстрактные теории, не имеющие практического применения (теория струн – красивая теория, не имеющая экспериментального подтверждения, более того: пока нет даже описания возможного эксперимента, который мог бы ее подтвердить). Колоссально значимым является потому призыв автора (от физика – физикам же) обратиться к исследованиям самой природы, а не углубляться в красоту математических абстракций, поскольку: «Не существует такой королевской дороги к пониманию природы, которая бы не использовала главным образом интуиции и гипотезы о самой природе». *Smolin, L. Lessons from Einstein's 1915 discovery of general relativity // electronic resource. <http://arxiv.org/pdf/1512.07551v1.pdf>* (дата обращения: 22.04.2016).

<sup>44</sup> Не сказать, что таковая гипотеза нова, если припомнить декартовский дуализм и особую связь двух субстанций: мыслящей и протяженной.

мы сместим границу и представим, что в квантовую систему входит прибор, состоящий из атомов. Проблема остается той же. Мы можем перенести границу к глазам, к мозгу наблюдателя и вновь не получим решения. Остается, следовательно, один «виновник» редукции волновой функции, дальше которого границу не сместить – сознание наблюдателя, получающего информацию, или трансцендентальный субъект познания.<sup>45</sup> Идею фон Неймана о сознании, производящем редукцию волновой функции, продолжали развивать Ф. Лондон и Э. Бауэр, однако различие состоит в том, что у Неймана акт восприятия познающего субъекта не выступает необходимым элементом, участвующим в материальной реализации определенного исхода эксперимента (эпистемологическая функция сознания), тогда как у Лондона и Бауэра сознание непосредственно влияет на протекание физического процесса (онтологическая функция сознания). Проблема здесь еще, однако, остается в том, что в рамках данной интерпретации четко не определено, что именно понимается под сознанием (и что вряд ли будет определено в терминах физической теории).

На опровержение такой радикальной точки зрения направлен известный парадокс Шредингера, представляющий собой мысленный эксперимент, суть которого заключается в следующем. Кошка помещена в стальную камеру с «адским» устройством, защищенным от вмешательства кошки: внутри счетчика Гейгера находится небольшое количество радиоактивного вещества, при этом в течение часа может распасться (или нет) всего один атом. Если атом распадается, считывающая трубка разряжается и срабатывает механизм, который спускает молоточек, разбивающий колбу с синильной кислотой, что ведет к неминуемой гибели животного. Предоставив данную систему себе самой на час, мы можем сказать, что кошка будет жива, если распад атома не произойдет. В

---

<sup>45</sup> Важно понимать, что субъект познания всегда один. В этом случае аргумент с «другом Вигнера» (измерение сначала делает Вигнер, а потом его друг, и они, как обладающие различными сознаниями, «должны» получить разный результат) не работает. *Гриб А.А.* К вопросу об интерпретации квантовой физики С. 1341

противном случае кошка мертва. Получается, что состояние системы, описываемое волновой функцией  $\Psi$ , предполагает смешение живой и мертвой кошки: кошка Шредингера и жива, и мертва (это равновероятно). Следовательно, пока мы не применим проективный постулат (проведем измерение системы), мы ничего не можем сказать о конкретном состоянии кошки. А поскольку проективный постулат применяется только относительно результата взаимодействия экспериментатора с системой, то получается, что кошка придет в определенное состояние только в момент открытия ящика (даже при наличии установленного факта смерти и того, что атом распался в течение часа). При этом совершенно очевидно, что кошка должна быть либо жива, либо мертва, ибо не существует сочетающего это в себе состояния (разве что только в специфических метафорических конструкциях, которые здесь, конечно, не к месту).

Парадокс Шредингера был дополнен парадоксом Вигнера, усиливающим крайность описанной точки зрения. Продолжая мысленный эксперимент, предположим, что спустя еще час после трагического (или нет) события в комнату с экспериментом входит другой наблюдатель, друг Вигнера. Он ничего еще не знает о результате эксперимента, а потому для него кошка все еще находится в суперпозиционном состоянии. Лишь узнав результат, для этого друга становится определенным, жива кошка или мертва. Более того, друзей у Вигнера еще очень много, а потому для всех них кошка все так же будет пребывать в состоянии суперпозиции и в таком состоянии останется в масштабе всей вселенной, пока все не узнают результат. Остается вопрос: в отношении к чьему сознанию (как измеряющему устройству) применять проективный постулат? Первоначального экспериментатора, друга Вигнера, друга друга Вигнера или, может быть, кошки? Ведь если мы рассматриваем кошку и наблюдателя как части одной системы, то суперпозиционное состояние этой системы может иметь следующий вид: живая кошка/радостный наблюдатель и мертвая кошка/грустный наблюдатель. Соответственно, коллапс волновой

функции произойдет в результате измерения этой системы третьим наблюдателем – пока отсутствующим другом Вигнера, например.

Парадокс Шредингера был направлен на критику неполноты квантовой механики в вопросе, касающемся условий возникновения редукции волновой функции, а именно определения момента, когда система из смешанного состояния переходит в чистое. В дальнейшем в работах Шредингера это было названо явлением квантовой запутанности, характерной для квантовых состояний, оказывающихся суперпозицией состояний двух систем.

Еще один проблематичный момент состоит в том, что можно было бы просто сказать, что из двух возможных состояний всегда есть либо одно, либо другое, а эксперимент нужен лишь для того, чтобы выяснить, что в действительности верно. Однако такое упрощенное понимание суперпозиции противоречит наличию интерференционных эффектов, характерных для квантовой механики. Если так упрощенно толковать процесс, наблюдаемый во время двухщелевого эксперимента, (частица проходит либо через первую щель, либо через вторую), невозможно будет объяснить получаемую интерференционную картину.

### 3) Интерпретация Дж. Уиллера<sup>46</sup>

Идеи копенгагенской интерпретации развивает ученик Бора Дж. Уиллер. Он акцентирует внимание на том, что только наблюдение «создает» реальность (под «созданием» здесь следует понимать актуализацию одной из возможностей, при этом некоторые возможности бытия объекта могут быть актуальны в иных взаимодействиях, с другими объектами), вознося роль наблюдателя до космологических масштабов. Все бытие Вселенной осуществляется посредством участия наблюдателя в актах становления (но, повторимся, человек не является единственным участником). Редукция волновой функции в определенный момент времени реализует одну из

---

<sup>46</sup> Уиллер Дж. Квант и вселенная // *Астрофизика, кванты и теория относительности*: Пер. с итал. / Под ред. Ф.И. Федорова. – М.: Мир, 1982 – С. 535-559

возможностей «бытия» микрообъектах в определенных внешних условиях. Наблюдатель вместе с прибором фиксируют коллапс волновой функции, завершая тем самым физический процесс и осуществляя его. Только производя редукцию на финальной стадии эксперимента, мы можем говорить о реальности существования физических процессов. Реальность конструируется благодаря производимой наблюдателем редукции волновой функции. И в этом смысле роль наблюдателя важна, так как объекты Вселенной и наблюдатель равным образом взаимодействуют<sup>47</sup>, определяя тем самым свое существование.<sup>48</sup>

Подводя итоги рассмотрения этой проблемы, заострим еще раз внимание на связанном с ней парадоксальном характере самой реальности (макро- и микромир). В квантовой механике физические события «становятся» следствиями наблюдений, вместо привычного научного представления о том, что события наблюдаются лишь потому и вследствие того, что они действительно произошли в окружающем мире и были зафиксированы. С этим и связана необходимость введения проективного постулата, присутствие которого остается проблематичным, поскольку он дуалистичен, антикаузален и не предполагает возможности проведения непрерывных измерений.

Ответом на проблему наблюдателя, которая остается не решенной, поскольку интерпретации не отвечают на весь комплекс вопросов, могло бы явиться следующее предположение. С одной стороны, утверждение отсутствия всякой границы (отсутствие экрана сознания, как сказал бы Мамардашвили), или предположение, что равными элементами событий (актерами) являются вещи, наблюдатели (в том числе как думающие, сознающие и чувствующие, социальные субъекты), технические приборы. С

---

<sup>47</sup> Пожалуй, уместным здесь будет упомянуть имя Бруно Латтура в контексте равенства участников взаимодействия. Возможно, здесь открывается странная возможность использовать метод акторно-сетевой теории (АСТ) для рассмотрения данных процессов взаимодействия.

<sup>48</sup> Севальников А.Ю. Интерпретации квантовой механики: В поисках новой онтологии. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. С. 70-71

другой стороны, необходим отказ от математических формализаций, использующихся при описании таких «гибридных объектов», поскольку математические формализации всегда связаны с ограничениями полноты (теорема Геделя). В этом смысле математические формализации всегда предполагают нечто, вынесенное за «экран». В этом смысле приходится сделать вывод о том, что полное решение проблемы наблюдателя, которая становится актуальной в связи с открытием квантово-механических объектов, возможно только за рамками квантовой механики.

## 2.2. Декогеренция

Как уже было отмечено выше, декогеренция – это процесс потери системой квантовых свойств при взаимодействии с окружающей средой. Используя физические термины можно сказать так: декогеренция – это процесс подавления (искусственным или случайным образом) эффекта интерференции<sup>49</sup>, т.е. теория декогеренции занимается изучением таких взаимодействий между системой и окружающей средой, которые ведут к подавлению интерференции.

Декогеренция, однако, не является еще одной из интерпретаций квантовой механики, но подходом к описанию квантовых систем, требующим дополнительной интерпретации.<sup>50</sup>

Так, декогеренция встречается в уже упомянутой нами позиции фон Неймана, который утверждал, что сознание наблюдателя имеет отношение к коллапсу волновой функции. Однако здесь возникает некоторая двойственность в понимании статуса волновой функции (точнее статуса сознания в отношении волновой функции): либо сознание некоторым образом убеждает нас в том, что коллапс волновой функции произошел (нам так показалось), либо же сознание играет действительно причинную роль в

---

<sup>49</sup> Феномен интерференции хорошо представлен в известном двухщелевом эксперименте: *Фейнман, Р. Дюжина лекций: шесть попроче и шесть посложнее* / Р. Фейнман; пер. с англ. – 6-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. С. 137-155.

<sup>50</sup> The Role of Decoherence in Quantum Mechanics // Stanford Encyclopedia of Philosophy. [Electronic resource] URL: <http://plato.stanford.edu/entries/qm-decoherence/> (дата обращения: 20.04.2016).

редукции волновой функции.<sup>51</sup> В любом случае, интерпретация фон Неймана опирается на безотносительность конечных предсказаний тому, где и когда произошел коллапс волновой функции. В этом и суть подвижности границы квантового и классического миров: коллапс может произойти где угодно в так называемой цепочке фон Неймана – когда частица ударяется об экран, когда стрелка прибора показывает результат, когда на сетчатке глаза отражаются показатели этой стрелки или когда сознание наблюдателя получает и обрабатывает результат. И это неважно, поскольку статистический результат получается один и тот же, применялся ли проективный постулат непосредственно к измеряемой наблюдаемой системе или к тому, что включает отражение результатов измерения на сетчатке глаза. Сам фон Нейман не говорит ничего о том, что происхождение коллапса на границе сознания эквивалентно его происхождению на любой границе, во время другого возможного измерения, проведенного в цепи фон Неймана. В действительности, если коллапс происходит только на границе сознания, то в принципе было бы возможным вместо того, чтобы смотреть на показатели прибора, произвести другое измерение на составной системе из квантового объекта и аппарата, которое выявило бы интерференционную картину между различными компонентами состояния этой системы.

Здесь и играет роль декогеренция, поскольку если подобное измерение возможно в принципе, то на практике декогеренция не позволяет его осуществить. Если коллапс волновой функции – это реальный физический процесс, то декогеренция на практике не позволяет обнаружить, где конкретно на измерительной цепочке произошел коллапс, что позволяет Нейману даже утверждать, что он происходит на уровне (на границе сознания) сознания (что ведет к онтологизации волновой функции), поскольку сознание в определенном смысле перестает быть эпистемологическим экраном.

---

<sup>51</sup> Речь идет о эпистемологическом и онтологическом статусе волновой функции, что подробнее будет рассмотрено в следующей главе.

Более сложна роль декогеренции в одной из теорий объективного коллапса, GRW-интерпретации.<sup>52</sup> Эта интерпретация говорит о том, что частицы претерпевают спонтанный коллапс волновой функции. Для индивидуальной частицы коллапсы происходят независимо и вероятностным образом, однако для больших групп частиц частота возникновения коллапса повышается, то есть становится более вероятным, что мы зарегистрируем этот коллапс.<sup>53</sup> Проблема использования подхода декогеренции в данной интерпретации, во-первых, состоит в том, что коллапс и декогеренция могут разойтись в разных направлениях.<sup>54</sup> Во-вторых, если декогеренция все же приблизительно образом совпадает с измерением позиции, встает вопрос, какой из процессов произошел раньше. Поскольку если коллапс происходит раньше, то суперпозиция компонентов релевантная декогеренции просто не успеет произойти, тогда декогеренция не играет никакой роли здесь. Если же, однако, декогеренция происходит быстрее, чем коллапс, то возникает ситуация, аналогичная предыдущей (с фон Нейманом): спонтанный коллапс может обнаружить как бы уже готовую структуру, на которой действительно коллапсирует волновая функция. Вопрос возникает и относительно экспериментальной проверки этой теории. Если коллапс – это реальный физический процесс, то из-за декогеренции невероятно сложно обнаружить, когда и где он имел место быть.

Работа с процессами декогеренции актуальна в контексте вопроса о создании квантового компьютера – устройства, способного производить параллельные вычисления с огромным числом слагаемых, содержащихся в квантовой суперпозиции. Декогеренция здесь играет двойную роль:

---

<sup>52</sup> Ghirardi G.C., Rimini A., and Weber T. (1985). "A Model for a Unified Quantum Description of Macroscopic and Microscopic Systems". *Quantum Probability and Applications*, L. Accardi et al. (eds), Springer, Berlin.

<sup>53</sup> Для отдельной частицы спонтанный коллапс происходит невероятно редко: раз в сто миллионов лет, поэтому он до сих пор не был зафиксирован учеными.

<sup>54</sup> Здесь следует сделать небольшое уточнение, что коллапс и декогеренция – это не одно и то же, хотя они довольно близки по смыслу в том, что в обоих этих процессах информация о квантовой системе транслируется на окружающую среду. Однако в случае декогеренции этот происходит плавно и растянут во времени, в случае коллапса же – мгновенно и интенсивно. Коллапс волновой функции происходит в момент измерения, хотя, как мы уже говорили, измерение в принципе и есть «спланированная» декогеренция, поскольку в роли окружающей среды выступает измерительный прибор, транслирующий данные о квантовом объекте на макроскопический уровень.

негативную, поскольку ведет к распаду суперпозиции (в силу спонтанных взаимодействий с окружающей средой), и позитивную, поскольку результаты вычисления необходимо вывести и записать в классической устойчивой форме. Это становится возможным в результате проведенного измерения специальным устройством (играющим роль измерительного прибора) над состоянием компьютера как квантовой системы (или организации специального взаимодействия с окружающей средой).

### **Глава 3. Проблема детерминизма**

В контексте возникновения в квантовой механике проблемы фундаментальной вероятностной природы закономерностей (и вытекающей отсюда проблемы неопределенного и неполного знания физического смысла объекта, его природы) становится актуальной проблем детерминизма. Проблему эту можно сформулировать следующим образом: как объединить классические представления о детерминизме, от которых невозможно полностью отказаться и те, которые возникают в контексте современной науки. Следует ли второе понимать как отклонение от первого или различные представления описывают различные объекты? Проблема детерминизма возникает относительно определения предметности квантовой механики и в качестве ее предположительного решения также существует несколько ответов – интерпретаций. Для начала мы разведем (уточним) понятия причинности и детерминизма в соответствии с нашим пониманием этих терминов, затем приведем примеры интерпретаций, предполагающих сохранение детерминизма (с целью решения проблемы реальности), а в завершении остановимся на вопросах индетерминизма и индетерминированности квантовой механики, также приведя соответствующие интерпретации.

#### **3.1. Причинность и детерминизм**

Согласно Оксфордскому словарю понятие детерминизма (determinism) в английском языке употребляется с XV в. в контексте риторики, права и логики в смысле определения существа дела, положения конца или предела, положение в основание силой авторитета и т.д. С XVII в. это понятие соединяется с понятием причинности (causality) в контексте фиксирования события или решения в соответствии с причинностью. Причина или причинность употребляется Гоббсом в «Левиафане» как основание, мотив, причина действия. Причинность связывается с силой (power), из-за которой нечто, до того не существующее, приходит к существованию. Выделяются

следующие особые характеристики причинности: униморфность (причина и следствие имеют одну природу) и универсальность генетической связи. Причинность также часто связывается с действием свободной воли, как независимая активность. Детерминизм же, как философская доктрина, предполагает скорее определенность внешними силами (с XVII в.) и противостоит действию свободной воли. Особенно с XIX в. детерминизм связывается, но не отождествляется с фатализмом и властью судьбы. Апелляция к детерминизму часто предполагает редукционизм к некоторому основанию: экономический детерминизм, социальный и т.д. Также можно упомянуть и понятие *reason* (собственно «причина», «основание», «повод»), связанное с интеллектуальной властью и способностью действовать. С XIV в. это понятие обозначает не только утверждение факта, но и онтологическое основание факта зависимое или независимое от человеческой деятельности. Итак, *determine* – определить основание и в этом смысле ограничить явление, *causality* – генетическая связь возникновения, *reason* – мотив, основание действия.<sup>55</sup>

Мы определяем для нашего исследования причинность как более широкое понятие, чем детерминизм, вот в каком смысле. Детерминизм понимается как рациональный конструкт, надстроенный над причинностью и в этом смысле ее сужающий, ограничивающий, *определяющий*.<sup>56</sup> Имея задачей науки, познание природы и господство над ней, мы стремимся добраться до основания, с помощью которого мы способны выносить объективные суждения о мире. Детерминизм как инструмент познания позволяет нам выявлять причинные связи в природе, которые мы способны обнаружить в силу средств нашего познания, обосновывая затем законы и

---

<sup>55</sup> Oxford English Dictionary Second edition / Prep. By J.A. Simpson, E.S.C. Weiner. Oxford: Clarendon Press, 1989. «reason» v.XIII p. 288-290; «determine» v. IV p. 549, «determinism» v. IV p. 552. «cause» v. II p. 1000, «causality» v. II p. 999.

<sup>56</sup> Причинность, таким образом, понимается нами скорее онтологически, тогда как детерминизм – эпистемологическое понятие, предполагающее необходимость объяснения и предсказания. В классической картине мира происходит отождествление мыслимого и сущего – бытие под понимающим взглядом и есть бытие научного объекта, мира как научного объекта. Отсюда двойственность лапласовского детерминизма для нас, современных: в себе он полагает тождество эпистемологического и онтологического принципов детерминизма или принципа причинности и принципа детерминизма.

закономерности. Это условие непрерывного и воспроизводимого опыта, получаемого субъектом науки (в этом смысле трансцендентальным субъектом). Детерминизм является звеном, соединяющим субъекта и объекта исследования и устанавливается как принцип новоевропейского научного мышления.

Однако, разумеется, мы принимаем во внимание также и существование позиции, где есть детерминизм и причинность, берутся как принципы, определяющие движение и изменение системы и взаимосвязи в ней, и тогда можно сказать, что детерминизм более широкое понятие, чем причинность, поскольку кроме последней существуют и другие связи, и корреляции в системе.

В.П. Бранский также принципиально различает два этих понятия – причинность и детерминизм - однако, в несколько ином ключе: анализируя принцип дополнительности Бора и ошибочность его формулировки.<sup>57</sup>

Бор приходит к своему принципу, пишет Бранский, через идею движения, внутри которой классическая физика фундаментально отличается от квантовой механики. В классической физике макрообъекты движутся по траекториям, и движение описывает уравнение Ньютона. Микрообъекты не имеют траекторий, и эту «бестраекторность» движения описывает «облако» вероятности, выражаемое волновой функцией. Закон квантовой механики – это уравнение Шрёдингера, показывающее изменение состояния движения микрообъекта с течением времени вследствие взаимодействия с другими микрообъектами. На основании соотношения неопределенностей, Бор делает вывод: «точная локализация микрообъектов в пространстве и времени и точное применение к нему динамических законов сохранения взаимоисключают друг друга».<sup>58</sup> Локализация в пространстве и времени предполагает применимость понятий пространства и времени, а

---

<sup>57</sup> Бранский В.П. *Философия физики XX века. Итоги и перспективы.* С. 35-57

<sup>58</sup> Там же, С. 36

динамические законы сохранения (энергии, импульса и момента импульса) – применимость понятия причинности, под которой понимается однозначная связь между двумя событиями, когда от одного события к другому происходит перенос энергии, импульса или момента импульса соответственно. Связь в такой причинности именуется *генетической*, что предполагает при наличии причинной связи между некоторыми явлениями А и В то, что А (при нужных условиях) с необходимостью порождает В.<sup>59</sup> Так причинность понималась и в классической физике. Несовместимость фундаментальных классических понятий была названа Бором «дополнительностью», чтобы отличить особую ситуацию в квантовой механике от простых логических противоречий. Но есть, отмечает Бранский, ошибочна формулировка принципа Бора: пространственно-временное и детерминистическое описания микрообъекта в исследовании взаимоисключают друг друга.

Детерминистические описания могут, согласно В.А. Фоку, отличаться: 1) детерминизм Лапласа (предполагает строгую и однозначную связь между начальным действительным состоянием и конечным действительным состоянием)<sup>60</sup>; 2) вероятностный детерминизм (предполагает однозначную связь между начальным возможным состоянием и конечным возможным состоянием).<sup>61</sup> Если принимать первый вариант детерминизма, то принцип дополнительности ошибочен, поскольку лапласов детерминизм в принципе неприменим к квантовомеханическим объектам. Но ошибка будет и в том

---

<sup>59</sup> В отличие от генетической связи чисто коррелятивная связь предполагает наличие отношения закономерного следования, но без передачи объекту энергии, импульса или момента импульса.

<sup>60</sup> Так, различие между причинностью и детерминизмом уже было представлено в механике Ньютона, где причинность – это силовое воздействие объекта А на объект В, а детерминизм – это однозначная связь состояния объекта В до воздействия и состояния объекта В' после воздействия.

<sup>61</sup> Речь идет о различии строгого и вероятностного детерминизма. Вероятностный детерминизм может быть понят в онтологическом или эпистемологическом смысле. Понятый онтологически, вероятностный детерминизм приписывает вероятностный характер самой реальности (что придает онтологический статус случайности). Понятый эпистемологически, вероятностный детерминизм указывает на то, что наше знание о природе может быть только вероятным (копенгагенская интерпретация с ее запретом на вопрос о сущности явления до измерения и вероятностным характером предсказаний относительно этого явления). Посмотреть об этом можно здесь: *Секацкая М.А. Детерминизм // Научные универсалии. Общие понятия: Сборник статей. С.-Петербург: С.-Петербургское философское общество, 2010. С. 27*

случае, если принять второй вариант детерминизма, поскольку тогда вероятностный детерминизм квантовой механики совместим с пространственно-временным описанием.

В контексте вероятностного детерминизма, понятого онтологически, может быть конструктивным проведение различия между возможностью и действительностью.<sup>62</sup>

В. Гейзенберг призывал к созданию новой квантовомеханической онтологии в силу особенностей квантовой реальности. Начал он с обращения к принципу суперпозиции (квантовая система до наблюдения описывается суперпозицией когерентных состояний). Из него следует, что квантовая система находится во всех возможных своих состояниях или «сосуществующих состояниях» (Вайцеккер). Такое специфическое понятие состояния, как фундирующий элемент новой онтологии, Гейзенберг отождествляет с понятием возможности, обращаясь к аристотелевскому понятию «*dynamis*». «Отсюда видно, что понятие возможности, игравшее столь существенную роль в философии Аристотеля, в современной физике вновь выдвинулось на центральное место. Математические законы квантовой теории вполне можно считать количественной формулировкой аристотелевского понятия «*дьюнамис*» или «*потенция*».<sup>63</sup> Однако последовательно свои мысли он не развил, в силу своей некорректности в отношении понимания роли возможности, связывающей духовный и материальный мир: из обладания вероятностью частичной объективности не следует ее (вероятности же) частичная духовность.

Более основательно идеи Гейзенберга о конструктивности концепта возможность были развиты В.А. Фоком. Фок, однако, начинал свои построения с теории измерения и выделения «относительности к средствам

---

<sup>62</sup> Гейзенберг В. Избранные философские работы: Шаги за горизонт. Часть и целое. / Пер. А.В. Ахутина, В.В. Бибикина. // В. Гейзенберг. Язык и реальность в современной физике. – СПб.: Наука, 2005. С. 149-163; Фок В.А. Об интерпретации квантовой механики. С. 461-474; Севальников А.Ю. Проблема объективности в науке: история и современность. С. 124-132

<sup>63</sup> Гейзенберг В. Избранные философские работы: Шаги за горизонт. Часть и целое. СПб.: Наука, 2005. С. 162

наблюдения». Он вводит понятия «потенциальная возможность» и «осуществившееся» – аналоги аристотелевских «бытие в возможности» и «актуальное бытие». Важным замечанием является то, что идеализация независимости исследуемого объекта от условий и средств его наблюдения, характерная для классической физики, несправедлива в квантовой механике. Микрообъект в процессе измерения проявляет себя во взаимодействии с прибором. В процессе измерения Фок выделяет три стадии: приготовление объекта, поведение объекта в определенных внешних условиях и измерение. Варьируемая и самая важная – это, разумеется, третья стадия процесса. «Все указанные распределения вероятностей могут быть выражены параметрически через одну волновую функцию, которая не зависит от заключительной стадии эксперимента и тем самым является объективной характеристикой состояния объекта. Описываемое волновой функцией состояние объекта является объективным в том смысле, что оно представляет объективную (независящую от наблюдателя) характеристику потенциальных возможностей того или иного результата взаимодействия атомного объекта с прибором. В этом же смысле оно относится именно к данному, единичному объекту. Но это объективное состояние не является еще действительным, в том смысле, что для объекта в данном состоянии указанные потенциальные возможности еще не осуществились. Переход от потенциально возможного к осуществившемуся, к действительному, происходит в заключительной стадии опыта».<sup>64</sup> Таким образом, Фок рассматривает «потенциальные возможности» в качестве совершенно объективных характеристик системы.

Волновая функция, эволюционирующая согласно уравнению Шрёдингера, описывает квантовомеханическое «бытие в возможности», и сама она при этом задана в конфигурационном пространстве системы, а не определена в реальном пространстве и времени. Актуализация возможного происходит только в акте измерения.

---

<sup>64</sup> Фок В.А. Об интерпретации квантовой механики. С. 468

Придавая, следом за Аристотелем, онтологический статус возможному, онтологизируя концепт возможности, мы объясняем и вероятностный детерминизм и определяем его онтологический статус.

### **3.2. Фундаментальное значение вероятности (индетерминизм квантовой механики)**

Радикальное отличие квантовой механики от предшествующих физических теорий в том, что ее утверждения имеют вероятностный характер, и что еще более важно – эта вероятность имеет сущностный характер. Как правило, использование теории вероятности (в различных случаях классической физики) связано с неполнотой знания конкретной ситуации, однако предполагается, что в дальнейшем, при получении более полных сведений, вероятности возможно исключить. В случае же квантовой механики это не так (во всяком случае, на данном этапе ее теоретического обоснования), т.е. вероятность предполагается укорененной в самой специфике микромира. Это легче понять, чем принять; на такое крушение прежней научной картины мира Эйнштейн отреагировал словами «Я не могу поверить, что Бог играет в кости».

Спор о статусе случайности в природе, как известно, начался еще в античности: вспомним противостояние позиций Демокрита и Эпикура. Первый утверждал, что в мире все подчиняется необходимости (движения атомов), а случайность, нами наблюдаемая, есть лишь результат нашего незнания (эта позиция через сотни лет оформилась в принцип лапласовского детерминизма как фундаментального принципа классического научного познания). Эпикур же допускал «свободу» атомов, случайность в самом их движении. Соответственно, мы можем говорить об эпистемологическом статусе случайности (Демокрит) и онтологическом ее статусе (Эпикур).

Как уже было сказано ранее, принцип лапласовского детерминизма нарушается в квантовой механике. Статус случайности, понимаемой, соответственно, лишь как результат нашего незнания необходимости,

следовательно, тоже пошатнулся. «Вероятность в квантовой физике, в отличие от вероятности в классической физике, не является следствием нашего незнания, а есть объективная вероятность, описывающая объективную случайность», - пишет А.А. Гриб.<sup>65</sup> Для рассмотрения проблемы в этом ключе мы будем использовать принятое разделение интерпретаций на *эпистемические* ( $\Psi$ -epistemic interpretations) и *онтические* ( $\Psi$ -ontic interpretations).<sup>66</sup>

Согласно данной точке зрения (принципиального разделения интерпретаций на эпистемические и онтические)<sup>67</sup>: «Квантовые вероятности суть функции от волновой функции, они представляют новый вопрос для интерпретации вероятности только в случае если волновая функция сама по себе онтическая, потому как только тогда квантовые вероятности будут нуждаться в более объективном статусе, чем в классической физике».<sup>68</sup> Имеется в виду, что мы понимаем случайность как объективно существующую и имеющую онтологический статус тогда, когда мы волновую функцию также понимаем как обладающую таким статусом (проблема реальности математических абстракций квантовой механики как относящаяся к группе гносеологических проблем физики упоминалась нами выше). Соответственно, к такому пониманию относятся онтические интерпретации.

---

<sup>65</sup> Гриб А.А. К вопросу об интерпретации квантовой физики. С. 1338

<sup>66</sup> Leifer, M.S. Is the Quantum State Real? An Extended Review of  $\Psi$ -ontology Theorems [Electronic resource] / M.S. Leifer // Quanta [Official website]. 2014. – Vol.3. – No.1. P. 67-155. DOI: 10.12743/quanta.v3i1.22. URL: <http://quanta.ws/ojs/index.php/quanta/article/view/22> (дата обращения: 20.04.2016) Онтические интерпретации – такие, где волновая функция отображает реальное бытие объекта, его онтологическую природу, в этом смысле и волновая функция имеет онтологический статус. Эпистемологические интерпретации – такие, где волновая функция отображает лишь наше знание об объекте, сохраняя неопределенность и непознанность в отношении его онтологической природы.

<sup>67</sup> Здесь может вспомниться описанное нами в первой главе разделение проблем современной физики, проведенное В.П. Бранским на эпистемологические и онтологические проблемы. У Бранского, однако, речь идет об общей классификации физических проблем, затрагивающих разные интерпретации и сами основания квантовой механики (статус квантового объекта, статус наблюдателя, статус математических абстракций, принцип дополнительности, принцип неопределенности и др.), тогда в данном случае мы говорим о классификации непосредственно интерпретаций, пытающихся решить вопрос о статусе волновой функции.

<sup>68</sup> Leifer, M.S. Is the Quantum State Real? An Extended Review of  $\Psi$ -ontology Theorems. P.71

К типу же эпистемических интерпретаций относятся те, где волновая функция имеет эпистемический характер, что значит, что волновая функция описывает познание наблюдателя о физической системе, то есть существующее в сознании этого наблюдателя, а не во внешнем физическом мире. Эпистемические интерпретации разделяются на две группы. Первая группа названа «не-копенгагенски интерпретации» (neo-Copenhagen); они описываются как антиреалистские, инструменталистские или позитивистские. К ним относятся, например, собственно копенгагенская интерпретация, квантовый байесианизм (QBism), реляционная интерпретация. Данные интерпретации сходятся во мнении о том, что не нужна более глубокая теория действительности, а квантовое состояние не является внутренним свойством системы. Ко второй группе относятся реалистические интерпретации, которые постулируют некую онтологию квантового объекта, но отрицают, что волновая функция является частью этой онтологии. К ним относятся, например, интерпретация со скрытыми параметрами (А. Эйнштейн, Л. Де Бройль – Д. Бом), статистическая интерпретация. К интересующим нас онтическим интерпретациям (для утверждения онтологического статуса случайности) относятся многомировая интерпретация Х. Эверетта, модальные интерпретации, пропензитивная интерпретация Поппера. Остановимся на них подробнее, поскольку здесь случайность приобретает онтологический статус, и оказывается невозможным классический детерминизм.

#### 1) Многомировая интерпретация (ММИ).

Многомировая интерпретация принадлежит американскому физику-теоретику Х. Эверетту.<sup>69</sup> Согласно данной интерпретации волновая функция обладает объективной реальностью и не зависит от наблюдателя. Существует также универсальная волновая функция: волновая функция Вселенной.

---

<sup>69</sup> Everett H. Relative State Formulation of Quantum Mechanics [Electronic resource] // Reviews of Modern Physics, vol. 29, (1957) pp 454–462. URL: <http://www.univer.omsk.su/omsk/Sci/Everett/paper1957.html> (дата обращения: 20.04.2016)

Волновая функция изменяется согласно уравнению Шрёдингера, из которого следуют все наблюдаемые свойства системы, и нет нужды в постулировании редукции волнового пакета. В процессе измерения физической величины при суперпозиции волновой функции происходит «расщепление» исходных состояний системы «частица и наблюдатель» на множество различных состояний, который принадлежат разным мирам (или Вселенным), не соприкасающимся между собой. Стоит оговориться, что мир или Вселенная в данном случае одни и те же, множественность относится к состояниям одного мира (одной Вселенной). Все члены суперпозиции реальны, и каждый описывает реальный мир, для которого существует свой наблюдатель, фиксирующий определенный результат измерения. Миры не взаимодействуют между собой, так что наблюдателю из одного мира ничего неизвестно о наблюдателе другого мира. Квантовая физика описывает как микромир, так и макромир.<sup>70</sup>

Таким образом, случайность (в смысле вероятностных состояний) в ММИ занимает положение, обладающее объективной реальностью, и имеет онтологический статус. Случайность при этом, что звучит несколько парадоксально, детерминирована уравнением Шрёдингера. Однако проблема в том, что механизм этой детерминации неясен: во-первых, выбор реального состояния системы, соответствующего данному (нашему) миру, лежит на данном наблюдателе и производится в силу действия сознания этого наблюдателя, но как и почему происходит этот выбор остается невыясненным. Во-вторых, остается проблема проверки множественных состояний на предмет их объективной реальности.

## 2) Модальная интерпретация (Б. ван Фраасен)

Данная интерпретация различает динамическое состояние (dynamical state) и состояние значений (value state). Динамическое состояние – это обычное состояние квантовой системы (вектор состояния для чистого

---

<sup>70</sup> Гриб А.А. К вопросу об интерпретации квантовой физики. С. 1345-1347

состояния или матрица плотности для смешанного). Важно то, что это состояние всегда эволюционирует согласно уравнению Шрёдингера, и редукция волнового пакета никогда не происходит. Динамическое состояние определяет, какие свойства физическая система может иметь в данный и последующий моменты времени. Смысл введения состояния значений в том, что система имеет определенный набор значений физических величин. Какие свойства системы определены и какие еще только могут быть определены – этот набор может изменяться со временем (если в данный момент точно определена координата частицы, то в этот же момент эта же частица совершенно не имеет импульса, но со временем это может измениться, и система будет иметь импульс, не имея координаты – в этом отличие от принципа неопределенности). Система имеет определенное значение некоторой наблюдаемой, даже в том случае, если динамическое состояние не является собственным состоянием этой же наблюдаемой, что нарушает один из постулатов квантовой механики.<sup>71</sup>

Таким образом, в модальной интерпретации измерение не связывается с переходом состояния системы в собственное состояние измеряемой величины. Измерение не создает величину результата измерения. Измерение – это лишь обнаружение одного из возможных значений измеряемой величины. Эти значения существуют и до измерения как возможности. Динамическое состояние безразлично к процессу измерения, так как оно лишь определяет возможные значения измеряемой величины.<sup>72</sup>

### 3) Пропенситивная интерпретация (К. Поппер)

Согласно данной интерпретации вероятности порождает экспериментальное устройство, от которого зависят эти самые вероятности. Поэтому вероятности можно называть свойством экспериментального

---

<sup>71</sup> Modal Interpretations of Quantum Mechanics // Stanford Encyclopedia of Philosophy. [Electronic resource] URL: <http://plato.stanford.edu/entries/qm-modal/> (дата обращения: 20.04.2016)

<sup>72</sup> Печенкин А.А. Философия науки и квантовая механика // Философия науки: исторические эпохи и теоретические методы. Издат.-полиграф. центр Воронежского гос. ун-та Воронеж, 2006. С. 259–284.

устройства, характеризующим предрасположенность (disposition) экспериментального устройства выявлять определенные частоты. Смещается акцент: вероятность теперь относится к результату отдельного эксперимента по отношению к его условиям, а не к частоте результатов в некой последовательности экспериментов. Волновая функция же описывает не сами свойства объектов, а их объективные предрасположенности (обладающие физической реальностью как силы и силовые поля) проявлять те или иные свойства. Наблюдатель при этом не играет роли, так как волновую функцию «возмущает» лишь изменение экспериментальных устройств и условий.<sup>73</sup>

### **3.3. Индетерминированность**

Необходимо обратить внимание на проводимое Антони Садбери различие индетерминизма и индетерминированности. Так, он пишет: «Индетерминированность квантовой механики связана с ее индетерминизмом, так как в ней действительно результаты измерения не определяются однозначно вектором состояния, который делает невозможным приписывание системе определенных значений наблюдаемых; однако индетерминированность следует отличать от индетерминизма, так как можно представить себе теорию, в которой все наблюдаемые имеют определенные значения, но эволюция системы не определяется однозначно этими значениями».<sup>74</sup> В действительности, такое различие имеет смысл, поскольку в различных интерпретациях квантовой механики в разных степенях присутствует индетерминизм в отношении вероятностных утверждений; в этом смысле индетерминированность выступает как менее строгая и жесткая характеристика особенностей квантовомеханической системы.

---

<sup>73</sup> Поппер К. Пропенситивная интерпретация вероятности и квантовая теория. 1957. Пер. Ю.И. Наберухина // электронный ресурс. <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000250/index.shtml> (дата обращения: 20.04.2016)

<sup>74</sup> Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. С. 291

Так, интересен способ приписывания определенных свойств частицам в квантовой механике, который явно отличен от классических конструкций. Во-первых, частица может не иметь определенного положения в пространстве или импульса, как и не может иметь обе эти характеристики точно определенными одновременно. Частица, более того, обладая определенным положением в данный момент времени, не имеет (не может иметь) определенных положений во все моменты времени данного интервала, следовательно, не может иметь траектории, поскольку в противном случае она с необходимостью обладала бы определенным значением импульса.<sup>75</sup>

Более того, статус свойства системы (наблюдаемой) вообще не определен, когда система не находится в ее собственном состоянии. Легитимно ли говорить тогда об обладании системой этим свойством? Поскольку наблюдаемая измерима и обнаруживается как имеющая определенное значение, то утверждения о ней далеко не бессмысленны; однако, всякое утверждение о наличии определенного значения у наблюдаемой может быть опровергнуто экспериментом, проводимым над системой, не находящейся в состоянии, описываемом собственным вектором наблюдаемой.

Подводя итоги рассуждений о проблеме детерминизма, мы можем сказать, что попытки его модификации путем онтологизации случайности или обращения к понятию возможности все равно сохраняют проблематичность описания квантовой реальности, поскольку механизм такой парадоксальной детерминации не ясен (как это было видно в случае, например, многомировой или модальной интерпретации). Предложение просто смириться с тем, что случайность объективным образом существует, разрушает все претензии физической теории, поскольку подрывает ее едва ли не главную способность – предсказательность, и, следовательно, ее полноту.

---

<sup>75</sup> Речь идет о принципе неопределенности Гейзенберга.

В любом случае, представляется, что решение проблем квантовой механики, связанных с проблемой детерминизма возможно в контексте отказа от понятия необходимости и введения в качестве конструктивных концептов, описывающих природу реального – концептов случайности в онтологическом смысле и возможности.<sup>76</sup>

---

<sup>76</sup> Кстати, именно это предлагают некоторые современные эпистемологические теории, в частности спекулятивный реализм. Можно посмотреть об этом работу К. Мейясу «После конечности»: *Мейясу К. После конечности: Эссе о необходимости контингентности.* — Кабинетный ученый, 2016. — 196 с.

## Глава 4. Проблема полноты

### 4.1. Скрытые переменные

Не приняв идею квантового индетерминизма, проявившегося в двухщелевом эксперименте (1927), А. Эйнштейн выступил против имеющейся на то время формулировки квантовой механики и предложил введение «скрытых параметров» как неких причин, которые не позволяют на современном уровне науки определить поведение частицы. Эйнштейн также возражал против существования дополнительных свойств микрообъекта независимо от наблюдения (принцип неопределенности Гейзенберга). Возражения были озвучены в знаменитой статье об ЭПР-парадоксе, где ставится вопрос о полноте квантовомеханического описания природы.<sup>77</sup>

Условием полноты теории Эйнштейн называет следующее: «каждый элемент физической реальности должен иметь отражение в физической теории».<sup>78</sup> Элементы реальности же должны быть определены на основе результатов экспериментов. При этом вводится критерий реальности: «Если мы можем, без какого бы то ни было возмущения системы, предсказать с достоверностью (т.е. с вероятностью, равной единице) значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине».<sup>79</sup> То есть характеристика элемента реальности (сущего) вводится через возможность быть однозначно определимым. Здесь предполагается идея локального реализма, объединяющая принцип локальности (пространственно разделенные системы не могут действовать друг на друга) и реалистическое предположение о том, что все объекты с необходимостью имеют некоторые пред-существующие значения (скрытые параметры) возможных измерений до самих измерений.

---

<sup>77</sup> Об ЭПР-парадоксе и исследованиях ЭПР-статьи можно посмотреть здесь: Эрекаев В.Д. «Запутанные» состояния: (философские аспекты квантовой механики): АО/РАН. ИНИОН. Отд. Философии; Отв. ред. Панченко А.И. – М., 2003. – 80 с. – (Сер.: Пробл. философии). С. 6-16

<sup>78</sup> Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? // Успехи физических наук. 1936. Т. XVI. вып. 4. С. 440

<sup>79</sup> Там же, С. 440-441

Эйнштейн, таким образом, вместе с Подольским и Розеном, отказываясь от математической формулировки квантовой механики, утверждали, что дополнительные свойства квантовых объектов существуют одновременно, но в силу несовершенства наших измерительных приборов, которые слишком сильно действуют на эти объекты, мы не можем их измерить.

Парадокс же состоит в том, что квантовая механика противоречит введенному критерию реальности. Однако парадокс этот снимается, если принять принцип относительности к средствам наблюдения (Фок); тогда физическая реальность становится относительной (включающей наблюдателя или хотя бы его средства наблюдения в качестве столь же реального). При этом невозможно безотносительно прибора говорить об элементах физической реальности («эйнштейновский элемент реальности становится отношением между частицей и прибором»<sup>80</sup>). Теория ЭПР впоследствии была опровергнута теоремой Белла и теоремой Кошена-Шпекера.

Теорема Белла утверждает, что любая физическая теория, использующая локальный реализм, не может воспроизвести все предсказания квантовой механики. То есть, какие бы локальные скрытые параметры не выбрать, соответствующие гипотезы будут экспериментально опровергнуты неравенствами Белла.

Теорема Кошена-Шпекера вводит три предположения: 1) определенность значений (все наблюдаемые квантовомеханической системы имеют определенные значения во все моменты времени); 2) если система обладает определенным свойством (значением наблюдаемой), то оно не зависит от способа измерения; 3) существуют взаимнооднозначные соответствия между свойствами квантовой системы и операторами в гильбертовом пространстве этой системы. Суть теоремы состоит в

---

<sup>80</sup> Гриб А.А. Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях. // Успехи физических наук. 1984. Т. 142. вып. 4. С. 620

установлении противоречия между тремя этими предположениями и квантовой механикой. Соответственно, это налагает ограничение на возможные теории со скрытыми параметрами.

Еще одно ограничение на теории со скрытыми параметрами представляет теорема о свободной воле.<sup>81</sup> Она основывается на трех предположениях (FIN, SPIN, TWIN)<sup>82</sup> и предположении о свободной воле. Суть теоремы в том, что, если при проведении определенного типа эксперимента (запутанная частица со спином 1) экспериментаторы могут спонтанно выбирать направления, вдоль которых они измеряют квадрат компоненты спина частиц, то в этом случае результат отдельного эксперимента не может быть предсказан никакой теорией. Это говорит о том, что частицы тоже обладают чем-то вроде свободной воли (semi-free will).

#### 4.1. Несепарабельность<sup>83</sup>

Плодотворность эйнштейновского мысленного эксперимента заключалась в осуществлении исследований по еще одному фундаментальному аспекту квантовой механики, такому как несепарабельность. Речь идет о том, что в квантовой механике невозможно описание мира путем деления его на части (иными словами, неразрывность какой-либо части системы со всей системой), как это происходит в классической физике.<sup>84</sup> Состояние системы, состоящей из двух частей, можно описать вектором в тензорном произведении гильбертовых

---

<sup>81</sup> Conway J., Kochen S. The Free Will Theorem [Electronic resource] // Foundations of Physics, Vol. 36, No. 10, October 2006. P. 1441-1473. DOI: 10.1007/s10701-006-9068-6. URL: <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0604079> (дата обращения: 29.04.2016)

<sup>82</sup> Первое предположение (FIN) – это следствие теории относительности, а два других (SPIN и TWIN) – могут быть проверены экспериментально. Это свидетельствует о достаточно крепкой базе данной теоремы и о ее серьезных намерениях. Однако предположение о свободной воле, увы, не проверяемо.

<sup>83</sup> О несепарабельности в квантовой механике: Karakostas V. Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences [Electronic resource] // Journal for General Philosophy of Science. 2004. 35. P. 283–312. URL: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0502099> (дата обращения 15.04.2016); о несепарабельности и нелокальности: Эрекаев В.Д. «Запутанные» состояния: (философские аспекты квантовой механики). С. 54-63

<sup>84</sup> Принцип сепарабельности предполагает, что состояния любых отделимых в пространственно-временном отношении подсистем  $S_1, S_2, \dots, S_N$  составной системы  $S$  однозначно хорошо определимы, так и состояния всей целостной системы определяется полностью ее подсистемами, их взаимодействиями и пространственно-временными отношениями.

пространств подсистем. В этом случае невозможно утверждать, что какая-то из подсистем находится в определенном состоянии, но можно информацию об одной из подсистем получить посредством эксперимента над другой. Другими словами, после взаимодействия двух подсистем невозможно в общем случае приписать один вектор состояния системы любой из двух подсистем. В общем случае невозможно математически представить волновую функцию целой системы как произведение волновых функций подсистем. Невозможно поэтому и провести рассуждения об измерении импульсов частиц так, как это было сделано Эйнштейном, Подольским и Розеном.

#### **4.2. Нелокальность**

Как известно, в квантовой механике невозможно одновременно измерить положение и импульс. Однако, как и предполагал Эйнштейн, если проводить одновременное наблюдение двух частиц, после их столкновения можно измерить импульс одной, импульс второй же – вычислить согласно закону сохранения импульса. Далее можно вычислить координаты второй частицы. Тогда принцип неопределенности становится несостоятельным, поскольку нам оказываются известны импульс и координата частицы одновременно.

Такому ходу рассуждений соответствует позиция локального реализма, предполагающая, что физические свойства системы объективны и независимы от измерений, а измерение одной системы не влияет никаким образом на результат измерения другой. Общий вывод из этого предположения (при добавлении того, что поведение системы детерминировано) такой, что поведение системы, которая не взаимодействует с окружением, зависит от предшествующих условий. Это и есть базис локальных объективных теорий, требующий введения «скрытых» параметров, из-за неопределенности которых и возникает видимая непредсказуемость результатов единичного измерения.

Однако на деле (подтвержденном теоретическими обоснованиями и экспериментами) ситуация обстоит иным образом, что нами было отмечено выше (опровержение эксперимента Эйнштейна неравенствами Белла и теоремой Кошена-Шпекера). Принцип неопределенности выполняется, что свидетельствует о существовании мгновенного дальнего действия частиц. Иными словами, частицы, разнесенные на огромные расстояния, способны хранить и **как будто** передавать информацию друг другу: если мы измеряем спин у одной частицы по одной оси, то мы сразу же можем определить значение спина у другой частицы по этой же оси. Что парадоксально с точки зрения теории относительности, поскольку взаимодействие частиц по Эйнштейну происходит в одной точке и скорость не может превышать скорости света (что случается при мгновенной передаче взаимодействия).

В настоящее время наличие нелокальности подтверждено рядом экспериментов, в частности в 1982 г. группой Алена Аспекта.<sup>85</sup>

Проблема полноты квантовомеханического описания реальности (а остается думать, что это описание действительно неполно, поскольку несмотря на успехи математики единства в интерпретациях до сих пор нет) оставляет следующие вопросы: объективна ли квантовая реальность – действительно ли мы можем говорить о независимо существующих и случайным образом (на онтологическом уровне) развивающихся объектах или же существуют некие, еще не установленные, обуславливающие их поведение связи; определима ли реальность однозначно – может ли быть выявлен в действительности квантовомеханический факт; добрались ли мы до квантовой реальности, или пока имеем дело только с ее описаниями; и наконец, есть ли вообще говоря эта реальность?

---

<sup>85</sup> Аспек А. Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора. // электронный ресурс. [http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/aspek\\_teorema\\_bella.pdf](http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/aspek_teorema_bella.pdf) (дата обращения: 21.04.2016)

## Заключение

Мы рассмотрели проблемы предметности в контексте принципов научной рациональности (классической и неклассической). На основе анализа базовых постулатов квантовой механики (концепт состояния в квантовой механике, принцип квантовой суперпозиции, принцип неопределенности и других, рассмотренных нами в первой главе) становится очевидным следующее. Предметность (специфичная предметность, поскольку мы в пространстве метафизики науки работаем с конкретной областью физики – квантовой механикой) оказывается проблематичной, в силу того, что принципы и постулаты ее определяющие, сами не однозначны, отличны от классических, более того, с трудом совместимы с ними.

Приняв во внимание разделение В.П. Бранским современных проблем физики на онтологические и эпистемологические (которые при этом очень тесно связаны друг с другом в силу специфики предмета квантовой механики), мы выделили три группы проблем: проблема наблюдения, детерминизма и полноты. Эти проблемы мы последовательно разобрали в контексте существующих интерпретаций и подходов квантовой механики, которые претендуют на их разрешение. Мы показали, что проблематичность предметности при этом не снимается. Мы полагаем, что самой крупной проблемой, обнаруживающейся во всех интерпретациях, остается проблема квантовой реальности, нашего доступа к ней, поскольку квантовомеханические реалии с трудом представимы и переводимы на привычный понятный нам мир классических объектов.

Нами также были предположены те направления исследований, в которых могут обнаруживаться ответы на указанные проблемы. Так, ответом на проблему наблюдения могут выступить следующие предположения. Во-первых, речь может идти о том, что равнозначными элементами исследуемых событий (актерами) являются и вещи, и наблюдатели (в том числе как думающие, сознающие и чувствующие, социальные субъекты), и технические приборы. Во-вторых, при этом представляется необходимым

отказ от математических формализаций, использующихся при описании «гибридных объектов», которые представляют собой взаимосвязь сознания (наблюдателя) и предмета, поскольку математические формализации всегда связаны с ограничениями полноты (теорема Геделя). Здесь напрашивается вывод о том (поскольку математический формализм всегда предполагает нечто, вынесенное во вне), что полное решение проблемы наблюдателя, актуализируемой открытием специфики природы квантовомеханического объекта, осуществимо только за рамками квантовой механики. К этому стоит добавить, что использование в некоторых интерпретациях концепта сознания требует проведения междисциплинарных исследований, поскольку сомнительно естественнонаучное понимание того, что подразумевается под сознанием, а также то, что оно действительно может быть полностью определено в терминах физических теорий.

В контексте проблемы детерминизма нами было отмечено, что введение концептов онтологической случайности и возможности может быть продуктивным способом использовано в решении проблемы специфической предметности квантовой механики и также в создании нового концептуального аппарата неклассической научной рациональности, необходимость которого остро чувствуется в научной среде последние десятилетия.

И, пожалуй, самое главное, что хочется отметить как действительно необходимый путь к выходу из сложившейся проблематичной ситуации в современной физике, так это диалог интерпретаций. Это представляется таковым, во-первых, поскольку различные интерпретации с разных сторон способны вскрыть и обнажить специфичные (и вместе с тем все еще проблематичные) стороны предмета, а во-вторых, это позволит избежать редукции к математической результативности и применимости и углубиться непосредственно в проблему понимания смысла квантовой реальности.

## Список литературы

1. Бор, Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание реальности полным? // Бор Н. Избр. Научн. Труды / Н. Бор. – М.: Наука, 1971. – Т.2. – С. 180-191.
2. Бранский, В.П. Философия физики XX века. Итоги и перспективы. – СПб.: Политехника, 2002. – 253 с.
3. Гейзенберг, В. Избранные философские работы: Шаги за горизонт. Часть и целое. / Пер. А.В. Ахутина, В.В. Бибикина. – СПб.: Наука, 2005. – 572 с. – (Сер. «Слово о сущем»).
4. Гриб, А.А. Квантовый индетерминизм и свобода воли / А.А. Гриб // Философия науки. – Вып. 14: Онтология науки [Текст] / Рос. акад. наук, Ин-т философии; Отв. ред. А.Н. Павленко. – М.: ИФ РАН, 2009. – С. 5-24.
5. Гриб, А.А. К вопросу об интерпретации квантовой физики / А.А. Гриб // Успехи физических наук. 2013. – Т. 183. – №12. – С. 1337-1352.
6. Гриб, А.А. Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях / А.А. Гриб // Успехи физических наук. 1984. – Т. 142. – вып. 4. – С. 619-634.
7. Дэстон, Л. Научная объективность со словами и без слов // Наука и научность в исторической перспективе / Ред. Д. Александров, М. Хагнер. – СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге, Алетейя, 2007. – С. 37-71.
8. Джеммер, М. Эволюция понятий квантовой механики: Пер. с англ. / Под ред. Л.И.Пономарева. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1985. – 384 с.
9. Мамардашвили, М.К., Соловьев, Э.Ю., Швырев В.С., Калиниченко, В.В. Классический и неклассический идеалы рациональности. Антология / М.К. Мамардашвили, Э.Ю. Соловьев, В.С. Швырев, В.В. Калиниченко // Мамардашвили, М.К. Классический и неклассический идеалы рациональности. – М.: Азбука, 2010. – С. 9-122.
10. Мейясу, К. После конечности: Эссе о необходимости контингентности. — Кабинетный ученый, 2016. — 196 с.
11. Менский, М.Б. Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов / М.Б. Менский // Успехи физических наук. 2000. – Т. 170. – №6. – С. 631-648.

12. Менский, М.Б. Явление декогеренции и теория непрерывных квантовых измерений / М.Б. Менский // Успехи физических наук. 1998. – Т. 168. – №9. – С. 1017-1035.
13. Меськов, В.С. Очерки по логике квантовой механики. М.: Издательство Московского университета, 1986. – 142 с.
14. Печенкин, А. Философия науки и квантовая механика // Философия науки: исторические эпохи и теоретические методы. — издат.-полиграф. центр Воронежского гос. ун-та Воронеж, 2006. — С. 259–284.
15. Садбери, А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
16. Сасскинд, Л., Фридман, А. Квантовая механика. Теоретический минимум / пер. с англ. А. Сергеев. – СПб.: Питер, 2015. – 400 с.: ил. – (Серия «New Science»).
17. Севальников, А.Ю. Интерпретации квантовой механики: В поисках новой онтологии. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 192 с.
18. Севальников, А.Ю. Проблема объективности в науке: история и современность // Наука: возможности и границы / Ред. Мамчур Е.А. – М.: Наука, 2003. – С. 107-134.
19. Секацкая, М.А. Детерминизм // Научные универсалии. Общие понятия: Сборник статей. – С.-Петербург: С.-Петербургское философское общество, 2010. – С. 23-31
20. Степин, В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 390 с.
21. Уиллер, Дж. Квант и вселенная // Астрофизика, кванты и теория относительности: Пер. с итал. / Под ред. Ф.И. Федорова. – М.: Мир, 1982 – С. 535-559
22. Фейнман, Р. Дюжина лекций: шесть попроще и шесть посложнее / Р. Фейнман; пер. с англ. – 6-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 318 с. : ил.
23. Фок, В.А. Квантовая физика и строение материи. Из. 2-е, испр. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 72 с. (Физико-математическое наследие: физика (квантовая механика)).
24. Фок, В.А., Эйнштейн, А., Подольский Б., Розен, Н., Бор, Н. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? / В.А. Фок, А. Эйнштейн, Б. Подольский, Н. Розен, Бор. Н. // Успехи физических наук. 1936. – Т. XVI. – вып. 4. – С. 436-457.

25. Фок, В.А. Об интерпретации квантовой механики / В.А. Фок // Успехи физических наук. 1957. – Т. LXII. – вып. 4. – С. 461-474.
26. Швырев, В.С. Рациональность как ценность культуры. Традиция и современность. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. – 176 с.
27. Эрекаев, В.Д. «Запутанные» состояния: (философские аспекты квантовой механики): АО/РАН. ИНИОН. Отд. Философии; Отв. ред. Панченко А.И. – М., 2003. – 80 с. – (Сер.: Пробл. философии).
28. Causality // Oxford English Dictionary Second edition / Prep. By J.A. Simpson, E.S.C. Weiner. — Oxford: Clarendon Press, 1989. v. II p. 999.
29. Cause // Oxford English Dictionary Second edition / Prep. By J.A. Simpson, E.S.C. Weiner. — Oxford: Clarendon Press, 1989. v. II p. 1000.
30. Determine // Oxford English Dictionary Second edition / Prep. By J.A. Simpson, E.S.C. Weiner. — Oxford: Clarendon Press, 1989. v. IV p. 549.
31. Determinism // Oxford English Dictionary Second edition / Prep. By J.A. Simpson, E.S.C. Weiner. — Oxford: Clarendon Press, 1989. v. IV p. 552.
32. Ghirardi, G.C., Rimini, A., and Weber, T. (1985). "A Model for a Unified Quantum Description of Macroscopic and Microscopic Systems". Quantum Probability and Applications, L. Accardi et al. (eds), Springer, Berlin.
33. Hahn, R. Pierre Simon Laplace, 1749-1827: A Determined Scientist. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2005. – 310 p.
34. Reason // Oxford English Dictionary Second edition / Prep. By J.A. Simpson, E.S.C. Weiner. — Oxford: Clarendon Press, 1989. v.XIII p. 288-290.

#### Электронные ресурсы

35. Аспек, А. Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора. // электронный ресурс. [http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/aspek\\_teorema\\_bella.pdf](http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/aspek_teorema_bella.pdf) (дата обращения: 21.04.2016)
36. Зурек, В. Декогеренция и переход от квантового мира к классическому (с добавлениями автора) // электронный ресурс. [http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/zurek\\_dekogerencia.pdf](http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/zurek_dekogerencia.pdf) (дата обращения: 21.04.2016).
37. Поппер, К. Пропенситивная интерпретация вероятности и квантовая теория. 1957. Пер. Ю.И. Наберухина // электронный ресурс. <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000250/index.shtml> (дата обращения: 2.05.2015).

38. Эйнштейн, А. Физика и реальность. Принципы теоретической физики. // электронный ресурс. <http://www.philsci.univ.kiev.ua/biblio/Ejnchtejn-f-r.html> (дата обращения: 28.04.2016).
39. Conway, J., Kochen, S. The Free Will Theorem [Electronic resource] // Foundations of Physics, Vol. 36, No. 10, October 2006. P. 1441-1473. DOI: 10.1007/s10701-006-9068-6. URL: [http://download-v2.springer.com/static/pdf/628/art%253A10.1007%252Fs10701-006-9068-6.pdf?token2=exp=1431270139~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F628%2Fart%25253A10.1007%25252Fs10701-006-9068-6.pdf\\*~hmac=a94d7359000c2a24786c5cb93edae0f3c06bbbf7aacdd9f4f840909c7ed92e7a](http://download-v2.springer.com/static/pdf/628/art%253A10.1007%252Fs10701-006-9068-6.pdf?token2=exp=1431270139~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F628%2Fart%25253A10.1007%25252Fs10701-006-9068-6.pdf*~hmac=a94d7359000c2a24786c5cb93edae0f3c06bbbf7aacdd9f4f840909c7ed92e7a) (дата обращения: 25.04.2015).
40. Everett, H. Relative State Formulation of Quantum Mechanics [Electronic resource] // Reviews of Modern Physics, vol. 29, (1957) pp 454—462. URL: <http://www.univer.omsk.su/omsk/Sci/Everett/paper1957.html> (дата обращения: 13.05.2015).
41. Karakostas, V. Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences [Electronic resource] // Journal for General Philosophy of Science. 2004. 35. P. 283–312. URL: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0502099> (дата обращения 15.04.2016).
42. Leifer, M.S. Is the Quantum State Real? An Extended Review of  $\psi$ -ontology Theorems [Electronic resource] / M.S. Leifer // Quanta [Official website]. 2014. – Vol.3. – No.1. P. 67-155. DOI: 10.12743/quanta.v3i1.22. URL: <http://quanta.ws/ojs/index.php/quanta/article/view/22> (дата обращения: 25.04.2015).
43. Modal Interpretations of Quantum Mechanics // Stanford Encyclopedia of Philosophy. [Electronic resource] URL: <http://plato.stanford.edu/entries/qm-modal/> (дата обращения: 5.05.2015).
44. Smolin, L. Lessons from Einstein's 1915 discovery of general relativity // electronic resource. <http://arxiv.org/pdf/1512.07551v1.pdf> (дата обращения: 22.04.2016).
45. The Role of Decoherence in Quantum Mechanics // Stanford Encyclopedia of Philosophy. [Electronic resource] URL: <http://plato.stanford.edu/entries/qm-decoherence/> (дата обращения: 20.04.2016).
46. Zeh, H.D. Decoherence: Basic Concepts and Their Interpretation // electronic resource. <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/9506020v3.pdf> (дата обращения: 21.04.2016).
47. Zurek, W.H. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical [Electronic resource] / W.H. Zurek // Reviews of Modern Physics, vol. 3, (2003) pp 1 – 60. URL: <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0105127v3.pdf> (дата обращения: 21.04.2016).