

Три подхода к проблеме квантовой реальности и вторая квантовая революция.

Терехович Владислав Эрикович

Институт философии, Санкт-Петербургский государственный университет

v.terekhovich@gmail.com

Аннотация

Анализ представлений о реальности ненаблюдаемых объектов квантовой теории не укладывается в рамки оппозиции реализм – анти-реализм. Во-первых, необходимо различать реализм в отношении к теории и в отношении ее объектов. Во-вторых, реализм в отношении классических объектов может совмещаться, как с реализмом, так и с анти-реализмом в отношении квантовых объектов. В-третьих, понятия «существование» и «объективная реальность» могут иметь несколько значений. С учетом этих оговорок в статье предлагается характеристика трех подходов: классического реализма, квантового анти-реализма и квантового реализма. Показано, что в последние десятилетия дискуссии между ними обострились благодаря второй квантовой революции, связанной с передачей и обработкой информации. Классический реализм и старые версии квантового анти-реализма оказались неэффективными при объяснении результатов ряда новых экспериментов. Сторонники квантового реализма ссылаются на возможность с помощью волновой функции манипулировать квантовыми объектами до их измерения. Таким образом, эксперименты и новые технологии стали сильным аргументом в, казалось бы, чисто философском споре о реальности.

Ключевые слова: научный реализм, анти-реализм, вторая квантовая революция, квантовые вычисления, интерпретации квантовой механики.

Введение.

В начале XX века в физике произошла революция, связанная с созданием специальной и общей теорий относительности, а затем квантовой механики (КМ). Революционность КМ проявилась в двух аспектах. В онтологическом аспекте предлагались новые представления о природе квантовых явлений. Вводились новые фундаментальные понятия, объекты и принципы, от старых предлагалось или отказаться, или ограничить их применение. Ставились под сомнение постулаты, касающиеся способов существования, причинности и случайности. В эпистемологическом аспекте КМ предлагала отказаться от привычных методологических и логических постулатов, образцов исследований и объяснений. Предлагались новые принципы познаваемости, наблюдаемости, дополнительности различных описаний, соответствия теорий, пересматривалась роль наблюдателя [Терехович, 2018].

Новые представления КМ были связаны с ее формализмом и, казалось бы, подтверждались экспериментами. Но, строго говоря, они не являлись ни аксиомами

теории, ни необходимыми следствиями из нее. Скорее, они формулировались как проблемы, требующие решения. И решать их весьма по-разному пытались конкретные физики в рамках собственных философских и методологических убеждений.

Сегодня дискуссия о реальности объектов научной теории часто рассматривается в контексте противостояния различных версий научного реализма и анти-реализма [Фурсов, 2013; Перспективы реализма в современной философии, 2017]. Эпистемический тезис научного реализма гласит, что успешные научные теории с высокой степенью вероятности отражают реальность. А семантический тезис утверждает, что теоретические термины успешных научных теорий обозначают реальные физические объекты (пусть даже и ненаблюдаемые) и их свойства.

Особый интерес представляет дискуссия о реальности ненаблюдаемых объектов квантовой теории [Мамчур, 2017; Хакинг, 1998; Цао, 2008]. Как будет показано далее, она не укладывается в рамки оппозиции реализм – анти-реализм. Для анализа взглядов на реальность этих объектов¹, будет дана характеристика трех подходов: *классического реализма, квантового анти-реализма и квантового реализма*. Полагаю, что именно между ними ведется соревнование за право объяснить, что скрывается за формализмом квантовой теории. Актуальность проблемы иллюстрируют слова Д. Мермина: «сегодня, почти через 90 лет после формулировки квантовой механики, несогласие в отношении смысла теории сильнее, чем когда-либо. Новые интерпретации появляются каждый год» [Mermin, 2012, p. 8]. В последние три десятилетия проводится большое число экспериментов только для того, чтобы выяснить, какая из трех упомянутых точек зрения на квантовую реальность ближе к истине [Терехович, 2017]. А в начале XXI века противоречия квантовой парадигмы и парадигмы классической теории поля вышли на новый уровень благодаря *второй квантовой революции*². Оказалось, что физики могут менять свое отношение к реальности объектов теории не только в результате экспериментов, но и в процессе трансформации теории в технологические инновации.

Три способа относиться к реальности объектов квантовой теории.

По мнению Я. Хакинга, реалист по отношению к объектам теории не обязательно должен быть реалистом по отношению к теориям [Хакинг, 1998, с. 36]. Несомненно, верно и обратное. Реализм относительно теорий говорит о том, что по мере развития теорий, они отражают истинные отношения природных объектов (по сути, это эпистемический тезис научного реализма). Реализм относительно объектов говорит о том, что объекты теорий должны действительно существовать (это соответствует семантическому тезису).

¹ В данной статье я не рассматриваю проблемы, порождаемые квантовой теорией поля.

² О термине «вторая квантовая революция» см. [Dowling, Milburn, 2003; Quantum Manifesto, 2016].

Практически одновременно с созданием КМ развернулась дискуссия не только об ее истинности как теории, но и о реальности вводимых ею объектов. Представляют ли квантовые состояния нечто в физической реальности и, если да, то каковы особенности этой реальности? Полагаю, что современный ретроспективный анализ этой дискуссии будет неполным без учета четырех оговорок.

Первая оговорка связана с тем, что реализм в отношении классических объектов может совмещаться, как с реализмом, так и с анти-реализмом в отношении квантовых объектов. Такая же альтернатива возможна и для реализма по отношению к квантовой теории.

Вторая оговорка обращает внимание, что давая характеристику любых подходов к реальности, желательно сразу отказаться от возможности однозначного ответа на вопрос о существовании. В вопросе о реальности обычно подразумевается, что объект (событие) может или существовать (происходить), или нет. Но такая двоичная логика, скрытая в вопросе, не позволяет адекватно описывать квантовые явления. Более перспективным, хотя бы в терминологическом плане, представляется различение понятий «быть» «существовать», «актуальное» и «потенциальное». Эти понятия и связанные с ними проблемы являются предметом современной метафизики модальностей [Терехович, 2015].

Третья оговорка относится к делению подходов к реальности квантовых объектов на пси-онтические и пси-эпистемические [Harrigan, Spekkens, 2010]. С *пси-онтической* точки зрения, каждому физическому (онтическому) состоянию соответствует только одно квантовое состояние, которое описывает волновая или пси-функция. Это состояние объединяет все собственные свойства квантовой системы и содержит о ней полную информацию. С *пси-эпистемологической* точки зрения, одно и то же физическое состояние может быть совместимо с различными квантовыми состояниями. Последние уже не содержат полную информацию о квантовой системе, а представляют собой наши знания о ней. В чем-то оно похоже на вероятностное распределение статистической механики.

Четвертая оговорка касается неопределенности термина «объективное существование» и также связана с понятием информации. Если объективно то, что не зависит от субъекта, то принципиальным становится понятие субъекта, получающего информацию о квантовом состоянии. Что считать субъектом – любой сознающий индивидуум, подготовленного физика, измерительный прибор, любые макрообъекты или что-то еще? Информация – это наше знание или нечто существующее независимо от нас? Ведь, согласно принципу неопределенности в формулировке Р. Фейнмана, интерференцию разрушает сама возможность устроить прибор, определяющий, какое из двух взаимно исключающих событий осуществилось [Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1965, с. 215.]. Иначе говоря, правило определения вероятности обнаружения частицы зависит не от нашего знания, а от того, есть ли принципиальная возможность узнать, по какому из взаимоисключающих путей она пролетела [Фейнман, 2014, с. 94.]. Трудность в том, что мы не можем заранее принять какое-либо определение объективности, поскольку она сама является частью проблемы измерения в КМ.

С учетом перечисленных оговорок можно выделить три концептуально разных подхода к проблеме реальности объектов квантовой теории. Эти подходы я условно называю: *классический реализм*, *квантовый анти-реализм* и *квантовый реализм*. Причем первые два относятся скорее к пси-эпистемологическому подходу, и только квантовый реализм – к пси-онтическому.

Защитником *классического реализма* принято считать А. Эйнштейна [Фок, Эйнштейн, Подольский, Розен, Бор, 1936]. Он не верил ни в полноту квантовой теории (анти-реализм по отношению к теории), ни в какую-либо реальность волновой функции (анти-реализм по отношению к объектам). Теория должна описывать реальность, но реальность не может быть такой, как ее описывает КМ, следовательно, КМ – это лишь инструмент, математическая модель для предсказания. Квантовые явления не могут принципиально отличаться от явлений классических, а значит, свойства квантовых объектов и сами эти объекты должны существовать объективно и не зависеть от наблюдения. Тогда волновая функция описывает лишь наше неполное знание о некоем реальном состоянии и похожа на статистическое распределение вероятностей. Неполнота знания подразумевает существование скрытых объективных свойств, которые не описываются квантовой теорией. И, конечно, для квантовых явлений должны соблюдаться принципы локальности и детерминизма. Именно такие представления лежат в основании статистических интерпретаций КМ и интерпретаций с локальными скрытыми параметрами.

Способом сохранить реализм и в отношении квантовой теории, и в отношении ее объектов стал *квантовый реализм*. Первыми его представителями можно считать волновую механику Э. Шредингера и теорию с нелокальными скрытыми параметрами Л. Де Бройля, позже развитую Д. Бомом. Предполагалось, что волновая функция отражает полную информацию о возможных состояниях системы. Но это не просто знание о возможных результатах опытов. Можно говорить о существовании неких независимых от наблюдателя квантовых сущностей, хотя форма их существования может сильно отличаться от классической реальности, в первую очередь своей нелокальностью и отсутствием однозначной причинности при переходе от квантовой реальности к классической. Сначала на роль таких сущностей предлагались волны материи, волны вероятности или нелокальные потенциалы. В более поздних интерпретациях к ним добавились: предрасположенности, отношения, согласованные истории, квантовые операторы, миры, кубиты и, наконец, сама волновая функция.

Промежуточную позицию занял *квантовый анти-реализм*, представленный Копенгагенской интерпретацией, интерпретациями Дж. фон Неймана, Ю. Вигнера, раннего Дж. Уилера (позже он стал квантовым реалистом), квантовым байесонизмом (Q-bism) и другими. Копенгагенскую интерпретацию поддерживали многие физики, стоявшие у истоков КМ и разделяющие позицию Н. Бора и В. Гейзенберга в их споре с А. Эйнштейном. Возможно, поэтому до сих пор многие

ошибочно полагают, что Копенгагенская интерпретация и квантовая теория – это одно и то же³.

Квантовый анти-реализм предполагает, что формализм КМ полон, то есть дает нам полную информацию о состоянии системы, и не существует никаких скрытых параметров (реализм по отношению к теории). Считается, что неопределенность на квантовом уровне является неустранимым свойством природы, а вероятностный способ описания мира, таким же фундаментальным, как и другие законы природы. Отсюда Н. Бор сделал два философских обобщения. Одно в виде принципа дополнительности друг другу разных способов описания мира. Второе в форме утверждения, что целью КМ является вовсе не описание квантовой реальности, а лишь согласование предсказаний с экспериментальными данными.

Чтобы совместить подобный инструментализм с полнотой теории, предполагается, что до измерения не имеет смысла говорить о какой-либо реальности, ни о квантовой, ни о классической⁴. Есть только наше субъективное знание, его-то и описывает волновая функция. Недаром сторонники пси-эпистемического подхода часто разделяют именно Копенгагенскую интерпретацию. В отличие от классического реализма, здесь волновая функция отражает не приближенное знание о некоем реальном состоянии, а полное знание о возможных результатах будущих опытов. А в отличие от квантового реализма, она отражает не информацию внутри системы «квантовый объект-окружение-прибор», а исключительно наше знание (то есть информацию для наблюдателя). Классическая реальность как бы «возникает» в процессе измерения классическими приборами. По сути, это анти-реализм по отношению к квантовым состояниям до измерения, но реализм по отношению к квантовым частицам после измерения. На вопрос, как это совместить, предлагается ответ: во время наблюдения происходит непредсказуемый мгновенный «скачок» от причинного описания через эволюцию вектора состояния (суперпозиции возможных состояний) к описанию вероятностей результатов наблюдений. Скачок в описании, но не в реальной эволюции (наше знание в виде волновой функции как будто коллапсирует). Математически это выражается через проекционный постулат, согласно которому вектор состояния квантовой системы в момент измерения мгновенно проецируется на одно из возможных показаний прибора. Важно, что это проецирование не соответствует реальному физическому

³ Термин Копенгагенская интерпретация довольно размыт. По сути, это набор не всегда согласующихся друг с другом утверждений, высказанных разными физиками. Например, см. [Гриб, 2013].

⁴ Позже Н. Бор и В. Гейзенберг, защищаясь от обвинений в позитивизме, уточнили свое мнение о реальности и в чем-то сблизилась с квантовым реализмом. В беседах с В.А. Фоком Бор полностью признавал объективность свойств атомных объектов [Фок, 1957]. Гейзенберг разделял термины «физически реальное» (то, что существует в 3-х мерном пространстве) и «объективное» (то, что не зависит от субъекта). Он писал об «объективной» физической реальности, связанной с понятием возможности («потенции») [Гейзенберг, 1958, с. 24]. А затем уточнил, что «состояние замкнутой системы, которую можно представить при помощи гильбертова вектора, на самом деле объективно, но не реально», и этим возможным, в отличие от действительного управляют законы математики [Там же, с. 42-43].

процессу, а является лишь математическим приемом⁵. Еще раз подчеркну, все сказанное относится не к утверждениям квантовой теории, а к ее Копенгагенской интерпретации в рамках квантового анти-реализма.

Эволюция дискуссии о квантовой реальности.

Начиная с середины 30-х годов XX века, среди физиков была популярна позиция классического реализма в отношении квантовых объектов. Считалось, что квантовый мир – это лишь одно из проявлений мира классических явлений. Такому взгляду способствовали господствующая парадигма классического поля, подкрепленная авторитетом А. Эйнштейна, и невозможность проверки мысленных экспериментов, предлагаемых оппонентами.

Вопрос о реальности новых объектов квантовой теории (квант действия, волновая функция, спин, квантовый оператор, Гильбертово пространство, запутанные состояния и т.п.) долгое время не имел большого значения. Большинство физиков удовлетворялось позицией инструментализма относительно квантовой теории и анти-реализма в отношении ее объектов. Но по мере роста числа экспериментальных подтверждений теории и развития ее математического аппарата, стала набирать популярность Копенгагенская интерпретация.

Кроме успеха теории и авторитета Н. Бора, В. Гейзенберга, М. Борна, Дж. фон Неймана, П. Дирака, В. А. Фока, Л. Д. Ландау и других физиков (хотя их философской позицией мало кто интересовался) можно назвать еще несколько причин длительного успеха Копенгагенской интерпретации. Во-первых, она постулирует полноту квантовой теории для квантовых объектов, что важно для тех, кто с ней работает, хотя бы по психологическим причинам. Во-вторых, в ней предполагается, что истинность квантовой теории никак не противоречит истинности классических и релятивистских теорий. Такая совместимость обеспечивается принципом дополнительности, статистической интерпретацией волновой функции и проекционным постулатом. Все это позволяет оставаться реалистом одновременно по отношению и к квантовой теории, и к любым другим физическим теориям. В-третьих, Копенгагенская интерпретация, являясь антиреалистичной по отношению к квантовым объектам до измерения (даже с учетом особого мнения В. Гейзенберга и В. А. Фока), снимает необходимость объяснения их странного поведения. Правда за это приходится платить постулатом об особой роли наблюдателя и приборов в возникновении классической реальности. Но до начала второй квантовой революции даже это не являлось особой проблемой, а дискуссии о реальности волновой функции обычно объявлялись философскими и не имеющими отношения к настоящей физике. Позиция квантового реализма (например, Бомовская механика) считалась маргинальной. Казалось, окончательно победила прагматическая

⁵ Хотя для В.А. Фока и В. Гейзенберга этот скачок в каком-то смысле объективный процесс «перехода от возможного к действительному», причем переход вызывает не наблюдатель, а нарушение изолированности системы [Гейзенберг, 1958, с. 42; Фок, 1957].

позиция: не нужно задумываться о смысле квантовых уравнений, достаточно того, что они хорошо предсказывают⁶.

Новый этап дискуссий начался в 50-х годах. Постепенному росту числа сторонников квантового реализма способствовала критика инструментализма и позитивизма, возрождение интереса к философским основаниям науки (К. Поппер, Т. Кун, И. Лакатос и др.), а также формирование концепции «научного реализма» (Дж. Сمارт, Р. Бойд, Х. Патнэм и др.).

В 1964 году Дж. Белл опубликовал знаменитую теорему, надеясь в опыте проверить мысленный ЭПР-эксперимент и доказать реализм квантовых состояний, пусть и в нелокальной версии. Позже эксперименты по проверке неравенств Белла показали слабость классического реализма, что еще не означало победу квантового анти-реализма. Эксперименты говорили лишь о невозможности одновременного сохранения и реализма, и локальности классической физики. Одновременно, новые экспериментальные возможности возродили интерес к проблемам, связанным с суперпозицией, с реальностью математических объектов квантовой теории, а также с нелокальностью и ролью наблюдателя. Стали возникать новые реалистические интерпретации КМ⁷. С другой стороны, в это время в философии науки взамен раскритикованного инструментализма анти-реалисты выдвинули новые аргументы. Достаточно упомянуть исторический релятивизм (Т. Кун, П. Фейерабенд, Л. Лаудан) и конструктивный эмпиризм (Б. Ван Фраассен).

С середины 90-х годов дискуссия о реальности квантовых состояний окончательно перешла на этап экспериментальной проверки. Эксперименты продолжали подтверждать предсказания квантовой теории, классический реализм оказался в роли обороняющегося, а активность его сторонников свелась к поиску возможных лазеек в схемах экспериментов и ошибок в интерпретациях их результатов. Их оппоненты, напротив, придумывали все новые эксперименты для устранения лазеек, а также новые способы проверить предложенные ранее мысленные эксперименты [Терехович, 2017].

Частично благодаря критике анти-реалистов, но, в первую очередь, благодаря развитию квантовой теории поля и ее экспериментальным подтверждениям, в философии науки возникло несколько ослабленных версий реализма, например, экспериментальный реализм и структурный реализм в эпистемической, онтической и конструктивной версиях [Фурсов, 2013]. Сторонники квантового реализма

⁶ Д. Мермин назвал эту позицию «заткнись и считай» применительно к Копенгагенской интерпретации, что не совсем верно, так как она все-таки предлагает свои ответы на философские проблемы квантовой теории. По его впечатлению, третье поколение физиков мало размышляло о странностях квантовой теории, а когда их просили сформулировать, что они действительно думают о квантовой механике, они чувствовали себя неудобно, раздражались или сучали [Mermin, 1989, p. 9].

⁷ Б. ДеВитт возродил интерпретацию Х. Эверетта, назвав ее многомировой. Позже были сформулированы интерпретации согласованных историй, транзакционная, модальная, объективного коллапса и ряд других.

продолжали предлагать новые интерпретации КМ⁸. Появилось большое число статей и научно-популярных книг, стали проводиться десятки семинаров и конференций, посвященных исключительно философским проблемам КМ. После конференции «Квантовая физика и природа реальности» в так называемых «Оксфордских вопросах» [Briggs, Butterfield, Zeilinger, 2013] констатировалось, что по всему миру множество групп исследователей занимаются изучением природы реальности, которая описывается квантовой теорией. Там же были сформулированы основные проблемы, требующие исследования и, соответственно, финансирования. Следующий этап дискуссий начался с появлением новых квантовых технологий.

Вторая квантовая революция поддерживает квантовый реализм.

Для характеристики существенных отличий современной экспериментальной и технологической революции, вызванной развитием квантовой теории, в последнее десятилетие используется термин *вторая квантовая революция*. Благодаря первой квантовой революции в физике и технологиях было создано атомное оружие; атомная энергетика; сверхпроводники; лазеры; полупроводники, приведшие к созданию интегральных микросхем, компьютеров, интернета, мобильной связи, медицинских технологий и много другого. Основным объектом исследования и технического манипулирования были молекулы, атомы, группы частиц и их наблюдаемые свойства. Но в последние два десятилетия специалисты научились манипулировать отдельными квантовыми системами (ионами, фотонами и атомами) в состоянии суперпозиции, а также сложными системами в запутанном состоянии. Именно эти новые навыки стимулировали вторую квантовую революцию, объединяющую новые технологии передачи и обработки информации, в том числе квантовой криптографии и квантового компьютера; квантовые часы; квантовые датчики; новые подходы в когнитивных науках и создании искусственного интеллекта.

С началом второй квантовой революции неадекватность классического реализма в отношении квантовых объектов становится все более очевидной. Но и квантовый анти-реализм Копенгагенской интерпретации оказался недостаточно эффективен для объяснения результатов экспериментов. Экспериментаторов и инженеров уже не устраивают ссылки на таинственную роль наблюдателя, на математический трюк с проекционным постулатом и на дополнительность квантовых и классических законов. Те, кто создает экспериментальные установки и внедряет новые технологии, могут быть анти-реалистами в отношении квантовой теории или, как минимум, сомневаться в ней. Но они, скорее, будут тяготеть к реализму в отношении объектов этой теории, ведь они изучают их свойства, манипулируют ими и используют в работающих устройствах. А, как выразился Я. Хакинг, «большая часть физиков-экспериментаторов являются реалистами

⁸ К ним можно отнести интерпретации: реляционную, информационную, квантовый дарвинизм, новые версии многомировой интерпретации, использующие декогеренцию и теорию принятия решений.

относительно теоретических объектов, которые они используют» (Хакинг, 1998, с. 272). Несомненно, физики продолжают использовать операциональный подход, наполняя экспериментальным содержанием основные понятия и утверждения квантовой теории. Но этот подход следует отличать от философского операционализма, который «отказывает в праве на существование понятиям, не имеющим непосредственного отношения к экспериментам» [Клышко, 1998, с. 977].

По мнению Хакинга, ни успешное объяснение, ни даже экспериментирование с объектом еще не позволяют сделать вывод о его существовании, «только манипулирование с объектом при экспериментировании с чем-нибудь другим может в этом убедить» [Хакинг, 1998, с. 272]. А, как известно, и передача квантовой информации, и квантовая криптография, и квантовый компьютер основаны как раз на манипуляциях с волновыми функциями запутанных квантовых состояний.

Например, передача зашифрованной квантовой информации может производиться с помощью объектов, предварительно запутанных и разнесенных в пространстве между отправителем и получателем информации. В результате манипуляции с волновой функцией одного из таких объектов в точке отправления его состояние разрушается и воссоздается для второго объекта в точке приёма. Благодаря такой квантовой телепортации можно существенно увеличить расстояние передачи информации и ее секретность. Но именно существование явления квантовой запутанности и ее нелокальных свойств отрицают сторонники классического реализма. Другой пример манипуляции волновой функцией реализован в прототипах квантового компьютера. Основная его идея в том, что процесс вычисления происходит в состоянии суперпозиции (в кубитах), а ответ выдается уже в виде классической информации (в битах). Результаты вычислений первоначально тоже находятся в суперпозиции, и когда мы пытаемся их узнать, то случайным образом получаем лишь один из них. То есть для получения ответа с достаточной точностью (вероятностью), надо много раз повторить весь цикл вычислений. Получается, что члены суперпозиции все-таки обладают какой-то степенью реальности. Иначе, откуда возникает результат их взаимодействия?

В попытках найти ответ на последний вопрос обострился спор квантового реализма и квантового анти-реализма. Сторонник первого подхода Д. Дойч утверждает, что экспоненциальное ускорение в квантовых вычислениях может быть правильно понято только в рамках многомировой интерпретации КМ [Дойч, 2015]. Хотя, решить проблему вычислений в рамках квантового реализма можно и другим способом, например, придать онтологический статус самой квантовой информации [Bub, 2004]. В рамках компромисса между классическим и квантовым реализмом продолжается дискуссия о реализме в его нелокальной версии. А совсем недавно квантовый анти-реализм получил поддержку в лице интерпретации, названной Q-bism, где вероятность, как мера знания, заменяется на вероятность по Байесу, как меру уверенности [Fuchs, 2017].

Для сторонников квантового реализма остается еще один трудный вопрос – всегда ли возможность манипуляций ненаблюдаемым теоретическим объектом говорит о его существовании? Например, если теоретическое представление о волновой функции изменится, то она может или вообще перестать существовать как

теоретический объект, или стать предельным случаем другого теоретического объекта, например, оператора квантового поля с бесконечным числом степеней свободы, действующего на вакуумный вектор в пространстве Фока. Что-то похожее происходит в рамках конструктивной версии структурного реализма (Т.Ю. Цао). Однако если формально следовать концепции структурного реализма и абстрагироваться от пристрастий его конкретных сторонников, то волновая функция даже в этом случае вполне может остаться реальной структурой. Во-первых, она обладает необходимыми внутренними симметриями. Во-вторых, ни квантовая механика, ни квантовая теория поля не являются окончательными теориями, а это не может служить препятствием для придания онтологического статуса волновой функции.

Кстати, Хакинг и сам признает, что «многие свойства надежно приписаны к электронам, но большинство свойств выражено в многочисленных теориях или моделях, о которых экспериментатор может знать довольно мало» [Хакинг, 1998, с. 273]. Теоретическую нагруженность ненаблюдаемых объектов Хакинг предлагает заменить семейством причинных свойств объекта, которые, как он думает, не зависят от теории. Однако, как известно, понятия о причинных законах и о типах причинности сильно варьируются в различных физических теориях, даже в рамках одной парадигмы. Кроме того, само понятие причинности является предметом философской дискуссии.

Можно заключить, что возможность с помощью волновой функции манипулировать другими объектами – только один из аргументов (хотя и довольно сильный) в пользу ее реальности или, как минимум, в пользу того, что она отражает внутреннюю структуру квантовой системы. Другой аргумент – это получение одних и тех же результатов в экспериментах, проводимых по разным схемам и с разными объектами (частицами, атомами, молекулами). Следует признать, что, во-первых, у обоих аргументов есть слабые стороны и их явно недостаточно, а, во-вторых, они не снимают проблему истинности квантовой теории. Скорее, наоборот, делают необходимым дальнейшее развитие, как самой теории, так и ее интерпретации.

Заключение.

Противники классического реализма считают, что эксперименты окончательно опровергли его утверждения о том, что свойства квантовых объектов локальны, существуют до наблюдения и от него независимы. Но, как это часто случалось в истории физики, эксперименты не являются достаточным основанием для отказа от привычных представлений о реальности. Классическая парадигма и не собирается сдавать позиции в умах своих сторонников, которые, наверняка будут изобретать новые лазейки в экспериментах и требовать более точных и веских контраргументов. Похоже, что революционные трансформации, вызванные появлением квантовой теории, спустя 90 лет все еще далеки от завершения.

В начале XXI века основная конкуренция развернулась между квантовым реализмом и квантовым анти-реализмом. Первый давно не является маргинальным, в его рамках уже возникли и продолжают возникать десятки новых интерпретаций

КМ. Позиции Копенгагенской интерпретации с ее пси-эпистемическим подходом, напротив, пошатнулись, хотя еще остается большое число ее сторонников. Помимо ряда экспериментов, сильный аргумент против нее содержится в PBR-теореме [Pusey, Barrett, Rudolph, 2012], благодаря которой любые пси-эпистемологические модели могут быть исключены или ограничены [Briggs, Butterfield, Zeilinger, 2013].

Помимо теоретических дискуссий и экспериментов, весомым аргументом в споре о квантовой реальности становятся новые технологии, внедряемые в рамках второй квантовой революции. Это подтверждает тезис о том, что развитие технологических инноваций может оказывать обратное влияние на изменение философских оснований науки и научной картины мира в конкретной области. Велика вероятность того, что технологии квантовой криптографии и квантовых вычислений окажутся практически успешными (что пока не гарантировано). А это может привести к очередному пересмотру представлений о реальности и способах ее познания, что в перспективе способно вызвать революционные трансформации не только в физике, но и в биологии, и в когнитивных науках.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-011-00920 «Революционные трансформации в науке как фактор инновационных процессов: концептуальный и исторический анализ».

Список литературы

- Гейзенберг, 1958 – *Гейзенберг В.* Развитие интерпретации квантовой теории // Нильс Бор и развитие физики / Под ред. В. Паули. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958. 260 с.
- Гриб, 2013 – *Гриб А. А.* К вопросу об интерпретации квантовой физики // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. №12. С. 1337-1352.
- Дойч, 2015 – *Дойч Д.* Структура реальности. Наука параллельных вселенных. М.: Альпина нон-фикшн, 2015. 460 с.
- Клышко, 1998 – *Клышко Д. Н.* Основные понятия квантовой физики с операциональной точки зрения // Успехи физических наук. 1998. Т. 168. №9. С. 975–1015.
- Мамчур, 2017 – *Мамчур Е. А.* Ненаблюдаемые сущности современной физики: социальные конструкты или реальные объекты? // Эпистемология и философия науки. 2017. Т. 51. № 1. С. 106–123.
- Перспективы реализма в современной философии, 2017 – *Перспективы реализма в современной философии:* сб. трудов Ин-т философии РАН / Под ред. В.А. Лекторского. М., 2017. 464 с.
- Терехович, 2015 – *Терехович В. Э.* Модальные подходы в метафизике и квантовой механике // Метафизика. 2015. №1. С. 129-152.
- Терехович, 2017 – *Терехович В. Э.* Существование квантовых объектов. Экспериментальная проверка метафизических установок // Метафизика. 2017. №1(23). С. 104–112.
- Терехович, 2018 – *Терехович В. Э.* Революционные трансформации в квантовой физике и инновации в квантовых технологиях // Манускрипт. 2018. №11. С. 119-125.
- Фейнман, 2014 – *Фейнман Р.* КЭД – странная теория света и вещества. М.: АСТ, 2014. 191 с.

- Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1965 – *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 3: Излучение. Волны. Кванты. М.: Мир. 1965. 238 с.
- Фейнман, Хибс, 1968 – *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовые интегралы по траекториям. М., 1968. 384 с.
- Фок, 1957 – *Фок В. А.* Об интерпретации квантовой механики // *Успехи физических наук.* 1957. Т. 62. №. 8. С. 461-474.
- Фок, Эйнштейн, Подольский, Розен, Бор, 1936 – *Фок В. А., Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н., & Бор, Н.* Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? // *Успехи физических наук.* 1936. Т. 16. №4. С. 436-457.
- Фурсов, 2013 – *Фурсов А. А.* Проблема статуса теоретического знания науки в полемике между реализмом и антиреализмом. 2013. М., Издатель Воробьев АВ. 240 с.
- Хакинг, 1998 – *Хакинг Я.* Представление и вмешательство. Введение в философию естественных наук. Пер. с англ. / Перевод С. Кузнецова, Науч. ред. Мамчур Е. А. М.: Логос 1998. 296 с.
- Цао, 2008 – *Цао Т. Ю.* Структурный реализм и концептуальные вопросы квантовой хромодинамики // *Эпистемология и философия науки.* 2008. Т. 17. №3, С. 143-156.
- Briggs, Butterfield, Zeilinger, 2013 – *Briggs G. A. D., Butterfield J. N., Zeilinger A.* The Oxford Questions on the foundations of quantum physics // *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* The Royal Society. 2013. Vol. 469(2157). p. 20130299.
- Bub, 2004 – *Bub J.* Why the quantum? // *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics.* 2004. Vol. 35. No. 2. pp. 241-266.
- Dowling, Milburn, 2003 – *Dowling J. P., Milburn G. J.* Quantum technology: the second quantum revolution // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* 2003. Vol. 361. No. 1809. pp. 1655-1674.
- Fuchs, 2017 – *Fuchs C. A.* On participatory realism // *Information and Interaction. Eddington, Wheeler, and the Limits of Knowledge / Durham, I.T., Rickles, D. (Eds.). Springer, Cham, 2017. pp. 113-134.*
- Harrigan, Spekkens, 2010 – *Harrigan N., Spekkens R. W.* Einstein, incompleteness, and the epistemic view of quantum states // *Foundations of Physics.* 2010. Vol. 40. No. 2. pp. 125-157.
- Mermin, 1989 – *Mermin N. D.* What's Wrong with this Pillow? *Physics Today.* 1989. Vol. 42(4). p. 9.
- Mermin, 2012 – *Mermin N. D.* Commentary Quantum mechanics: Fixing the shifty split. *Physics Today.* 2012. Vol. 65(7).
- Quantum Manifesto, 2016 – *Quantum Manifesto for Quantum Technologies.* 2016. [<https://ec.europa.eu/futurium/en/content/quantum-manifesto-quantum-technologies> (дата обращения: 01.07.2018)].
- Pusey, Barrett, Rudolph, 2012 – *Pusey M. F., Barrett J., & Rudolph T.* On the reality of the quantum state. *Nature Physics.* 2012. Vol. 8(6). pp. 475.