

ПРОБЛЕМА РЕАЛИЗМА В СОВРЕМЕННОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

Материалы дискуссии

Участники:

Антипенко Леонид Григорьевич – кандидат философских наук, старший научный сотрудник. Институт философии РАН. Российская Федерация, 109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 12, стр. 1; e-mail: chistrod@yandex.ru

Беляков Александр Васильевич – сотрудник. Научно-богословский центр междисциплинарных исследований СПбГУ. Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, 9 линия В.О., д. 2/11; e-mail: tscr@mail.ru

Владимиров Юрий Сергеевич – доктор физико-математических наук, профессор. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Российская Федерация, 119234, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2; e-mail: yusvlad@rambler.ru

Годарев-Лозовский Максим Григорьевич – руководитель семинара. Русская Христианская Гуманитарная Академия. Российская Федерация, 191011, г. Санкт-Петербург, набережная реки Фонтанки, д. 15, помещение 602; e-mail: qodarev-lozovsky@yandex.ru

Копейкин Кирилл Владимирович – кандидат физико-математических наук, кандидат богословия, директор. Научно-богословский центр междисциплинарных исследований СПбГУ. Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, 9 линия В.О., д. 2/11; проректор. Санкт-Петербургская православная духовная академия. Российская Федерация, 191167, г. Санкт-Петербург, наб. Обводного Канала, д. 17; e-mail: kirill.kopeykin@mail.ru

Липкин Аркадий Исаакович – доктор философских наук, кандидат физико-математических наук, профессор. Московский физико-технический институт (гос. ун-т) (МФТИ). Российская Федерация, 141701, г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9; e-mail: arkadiy.lipkin@gmail.com

Николов Алексей Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Российская Федерация, 142432, г. Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д. 6; e-mail: nikulov@iptm.ru

Панов Александр Дмитриевич – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Российская Федерация, 119234, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2; e-mail: panov@dec1.sinp.msu.ru

Севальников Андрей Юрьевич – доктор философских наук, заведующий сектором. Институт философии РАН. Российская Федерация, 109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 12, стр. 1; e-mail: sevalnicov@rambler.ru

Сергиевская Галина Николаевна – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Российская Федерация, 119234, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

Спасков Александр Николаевич – кандидат философских наук, доцент. Институт философии Национальной академии наук Беларуси. Республика Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Сурганова, 1, корп. 2. e-mail: a.spaskov@gmail.com

Терехович Владислав Эрикович – кандидат философских наук, ученый секретарь семинара. Санкт-Петербургский государственный университет. Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, Менделеевская линия, д. 5; e-mail: v.terekhovich@gmail.com

В публикации отражены материалы дискуссии, состоявшейся в формате «круглого стола» в рамках конференции «Квантовая механика и философский дискурс», которая прошла в Институте философии РАН 14–15 апреля 2016 г. В публикуемых материалах приводится обсуждение того, как результаты квантовых экспериментов могут изменить метафизические представления о реальности. Экспериментальная проверка неравенств Белла, Леггета, Леггета-Гарга, а также эксперименты с отложенным выбором и квантовым «ластиком» подтверждают, что для квантовых объектов требуется существенный пересмотр представлений классического реализма. Обсуждаются различные подходы к трактовке наблюдаемых явлений. В рамках подхода модальной метафизики показано, как возможно разрешение ряда традиционных парадоксов квантовой теории, в частности, впервые удается показать, с чем связана «тайна квантовой механики», сформулированная Фейнманом.

Ключевые слова: квантовая механика, метафизика, онтология, модусы сущего, потенциальное, актуальное, принцип Маха, принцип индивидуации, время

А.Ю. Севальников: Уважаемые коллеги, позвольте мне открыть наше заседание. В рамках прошедшей Конференции было поставлено и обсуждалось множество проблем, связанных с квантовой механикой. Сегодняшнюю дискуссию предлагается посвятить одной ключевой проблеме, которая активно освещается в современной литературе, а именно проблеме реальности и реализма в квантовой механике. Предоставлю слово Владиславу Эриковичу Тереховичу, который подготовил хороший обзор, посвященной этой тематике.

В.Э. Терехович: Мое сообщение будет касаться соотношения физики и метафизики на современном этапе. Как известно, метафизика как область философии занимается самыми общими вопросами, такими как: существуют ли объекты независимо от представления человека? Существует ли между явлениями однозначная причинная связь? Могут ли события в будущем влиять на события в прошлом? Ответы на подобные вопросы определяют наше общее представление об окружающей реальности. До недавнего времени связь между взглядами на реальность и развитием научных теорий представляла интерес только для историков и философов науки. В последние три десятилетия благодаря развитию квантовых технологий стало возможным отвечать на эти вопросы в рамках лабораторных физических экспериментов.

Одним из традиционных вопросов метафизики является проблема существования. Эта же проблема возникла и в квантовой механике. Известно, что квантовая теория оперирует амплитудами вероятности или волновыми функциями. Последние связаны с комплексными коэффициентами, которые относятся к возможным результатам наблюдений конкретной наблюдаемой величины. Эти возможные результаты до измерения находятся в суперпозиции и могут интерферировать друг с другом. Волновая функция эволюционирует в соответствии с детерминированным уравнением Шредингера, но при переходе к результатам измерений в теории происходит разрыв. Этот разрыв заполняется с помощью правила Борна и проекционного постулата. Волновая функция с помощью оператора математически «проецируется» на возможные показания

прибора с вероятностью, пропорциональной квадрату амплитуды вероятности каждого из членов суперпозиции (матрица плотности). Суперпозиция превращается в смешанное состояние. Комплексная величина превращается в вещественную (собственное значение оператора). Проблема в том, что проекционный постулат не является ни объектом, ни процессом в пространстве-времени. Это только математическое правило, которое позволяет перейти от причинного описания квантовых явлений к вероятностному описанию результатов наблюдения. Как именно происходит выбор одной из возможностей, квантовая теория не описывает.

Если мы хотим понять квантовую механику, мы должны ответить, как минимум, на два вопроса. Если волновая функция – суперпозиция возможных состояний, то существуют ли эти состояния до их наблюдения? И почему разложение возможных состояний зависит от знания и выбора наблюдателя? Варианты ответов, а точнее метафизических установок в отношении квантовой реальности, можно объединить в три группы.

Для первой группы (классический реализм) квантовые явления аналогичны явлениям классическим, а значит, они реальны, локальны и детерминистичны. Реальность означает, что свойства квантовых объектов существуют объективно и не зависят от наблюдения. Волновая функция описывает наше неполное знание о реальном состоянии и похожа на статистическое распределение вероятностей. Неполнота знания подразумевает существование неких объективных свойств (скрытых параметров), которые не описываются квантовой теорией. Другая общая черта квантовой и классической реальностей – их локальность, означающая, что при отсутствии между системами физических взаимодействий, не превышающих скорость света, измерение одной системы не влияет на результат измерения другой. Это свойство вытекает из общего принципа близкодействия, согласно которому на объект влияет только его ближайшее окружение в пространстве-времени. Третье свойство квантовой реальности – детерминизм, означающий, что состояние замкнутой системы полностью определяется ее состояниями в предшествующие моменты времени, а будущие состояния не могут влиять на прошедшие. На подобные установки опираются интерпретации статистические и с локальными скрытыми параметрами.

Для сторонников второй группы (квантовый анти-реализм) до наблюдения реального квантового состояния не существует вовсе. Есть только наше субъективное знание о возможных результатах будущих опытов, его то и описывает волновая функция. Сюда можно отнести ортодоксальную копенгагенскую интерпретацию, квантовый байесонизм и квантовую логику.

В третьей группе (квантовый реализм) предполагается, что до наблюдения можно говорить о неких квантовых сущностях, хотя их реальность принципиально отличается от классической. Этими сущностями могут быть: квантовые операторы, волновые функции, информация, нелокальные потенциалы, предрасположенности, отношения и т. д. Волновая функция до всякого наблюдения отражает полную информацию или знание о возможных состояниях. К этой группе можно отнести очень разные интерпретации: отдельные версии копенгагенской, многомировую, информационную, Бомовскую, модальные, реляционную, транзакционную и другие.

Несмотря на то, что метафизические установки по отношению к реальности прямо не влияют на развитие квантовой теории и квантовых технологий, в последние десятилетия в мире проводится большое число экспериментов только для того, чтобы выяснить, какая из трех точек зрения ближе к истине. Сегодня можно констатировать три важных следствия этой работы. Во-первых, результаты экспериментов строго соответствуют предсказаниям квантовой теории. Во-вторых, эксперименты опровергают установки классического реализма для квантовых объектов. И, в-третьих, пока нет однозначного ответа в пользу квантового анти-реализма или в пользу квантового реализма. Далее кратко перечислим основные результаты экспериментов, связанных с проверкой метафизических установок о существовании квантовых объектов.

Эксперименты по проверке неравенств Белла показали, что сохранить одновременно и реализм, и локальность классического реализма невозможно. Надо или признать существенно вероятностное поведение даже отдельно взятой частицы и отсутствие скрытых параметров, или приписать частицам скрытые параметры, признав возможность нелокальной коммуникации между ними. В первом случае мы сохраняем локальность, жертвуя реализмом, во втором – сохраняем реализм, отказавшись от локальности. В эксперименте 2015¹, где использовались электроны, запутанные с фотонами, были устранены последние лазейки, подвергающие сомнению эти выводы. Интересно, что если двух-фотонные эксперименты имеют статистический характер, то в эксперименте Гринбергера, Хорна и Цайлингера (ГХЦ)² оказалось, что три запутанные частицы могут производить немедленный эффект в единственном эксперименте, так как измерение двух частиц позволяет с уверенностью прогнозировать свойства третьей.

Для проверки возможности сохранить реализм, пожертвовав локальностью, были сформулированы неравенства Леггета³. Если бы они соблюдались, то, возможно, квантовые объекты все-таки имели бы определенные свойства до измерения, при условии, что они могут организовать мгновенные корреляции друг с другом. В экспериментах, проведенных в 2007 и 2010 гг., неравенства Леггета нарушались, а это означает, что мгновенного влияния недостаточно для объяснения запутанности, и значит отказ от локальности не решает проблемы. Нужно отказаться, по крайней мере, от наивного реализма, что у частицы есть определенные свойства, не зависящие от наблюдений.

Допустим, после проверки неравенств Белла мы признали пространственную нелокальность или мгновенную корреляцию двух запутанных частиц, разнесенных в пространстве. Возможно, даже это один объект, одновременно находящийся в двух точках пространства (правда, тогда неясно, почему мы наблюдаем его в виде отдельных частиц?). Но остается еще один вопрос: можно ли также убедиться в предсказанной теории временной нелокальности, согласно которой частица движется не по определенной траектории, а сразу по всей совокупности возможных траекторий?

¹ *Merali Z.* Quantum “spookiness” passes toughest test yet // *Nature*. 2015. Vol. 525(7567). P. 14.

² *Pan J.W. et al.* Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberger–Horne–Zeilinger entanglement // *Nature*. 2000. Vol. 403(6769). P. 515–519.

³ *Leggett A.J.* Nonlocal hidden-variable theories and quantum mechanics: An incompatibility theorem // *Foundation of Physics*. 2003. Vol. 33. No. 10. P. 1469–1493.

Для ответа на этот вопрос были предложены неравенства Леггетта-Гарга⁴ (их иногда называют временными неравенствами Белла), в которые входят корреляции между результатами последовательных измерений положений частицы в различные моменты времени. Эти неравенства не должны нарушаться, если одновременно верны два следствия классического реализма. Первое (макрореализм): квантовый объект, как любая макроскопическая система, для которой возможны два или более различных состояния, в любое время будет находиться только в одном из этих состояний. Второе (неинвазивность измерений): в принципе возможно определить состояние системы, создавая сколь угодно малое возмущение ее последующей динамики. Если эволюция системы происходит согласно квантово-механическим, а не классическим законам, неравенства должны нарушаться. Экспериментальная проверка не только для ядерных спинов и фотонов, но и для атомов⁵ показала, что неравенства Леггетта-Гарга нарушаются. Это означает принципиальную невозможность свести эволюцию атома к движению по какой-либо определенной траектории. Мы всегда имеем дело с суперпозицией многих траекторий. Правда некоторые критики считают, что нарушение неравенства Леггетта-Гарга еще не означает ложность макрореализма.

Всем известен двухщелевой эксперимент, который как будто демонстрирует корпускулярно-волновой дуализм квантовых частиц при двух открытых щелях. Однако часто забывают, что для исчезновения интерференционной картины вовсе не обязательно закрывать одну из щелей. Достаточно у щелей установить детекторы. Удивительно, что когда нет никакой возможности измерить, через какую щель проходят частицы, на экране возникнет интерференция, как будто частица подобно волне «проходит» сразу через обе щели. Если же мы с помощью детекторов в принципе можем узнать, через какую щель прошли частицы (неважно, наблюдаем мы это или нет), интерференция исчезнет, и на экране возникнут две полосы, как при классическом сложении вероятностей. Дело в том, что согласно теории, у квантовых частиц нет никаких волн в пространстве-времени, похожих на классические электромагнитные волны. Сама возможность узнать траекторию частицы изменяет правило сложения амплитуд вероятности, а значит и результаты наблюдений. Волновые свойства проявляет не сама частица, а ее волновая функция, существование которой как раз и является проблемой.

Тот факт, что в экспериментах наблюдается интерференция не только частиц, но и макромолекул является аргументом в пользу квантового реализма. Если квантовая теория работает для макрообъектов и является фундаментальной теорией, то ее выводы о существовании могут быть верны и для классических явлений. Основная сложность – изолировать суперпозицию возможных состояний от влияния окружения из-за явления декогеренции.

Кроме неудачного сравнения квантовых объектов с волнами классического поля, классический реализм пытается объяснить двух-щелевой эксперимент тем, что детекторы якобы отбирают конкретные свойства или траектории из набора уже существующих до наблюдения. Согласно другой гипотезе, кванто-

⁴ Leggett A.J., Garg A. Quantum mechanics versus macroscopic realism: Is the flux there when nobody looks? // *Physical Review Letters*. 1985. Vol. 54. No. 9. P. 857.

⁵ Robens C. et al. Ideal negative measurements in quantum walks disprove theories based on classical trajectories // *Physical Review X*. 2015. Vol. 5. No. 1. P. 011003.

вые объекты при помощи скрытых локальных параметров получают информацию, есть ли в системе детекторы или нет, и в соответствии с этим ведут себя или как частицы, или как волны («теория заговора»).

Чтобы доказать, что до наблюдения фотон не имеет ни определенного свойства (волна или частица), ни определенной траектории, Уиллер предложил эксперимент с «отложенным выбором»⁶. В интерферометре Маха-Цендера измеряется задержка между случайным выбором наблюдателя, тем, что он собирается измерять, и самим изменением свойств (траекторий) фотона. В отличие от двухщелевого эксперимента, детекторы ставятся не у щелей, а после того, как фотон пролетел через них – непосредственно перед вторым экраном. В эксперименте 2007 г.⁷ установлено, чтобы фотон успел решить, двигаться ему сразу по обоим путям как волна или по одному из двух, как частица, информация о выборе экспериментатора должна распространяться в 4 раза быстрее скорости света. В 2015 г. аналогичный эксперимент был проведен с одиночным атомом⁸.

В 2012 г. в эксперименте с квантовым отложенным выбором⁹ удалось наблюдать, как фотон проявил себя одновременно и как волна, и как частица. Более того, он плавно переходил от одного проявления к другому. Как известно, понятие дополнительности этих несовместимых между собой аспектов – одно из центральных в стандартной копенгагенской интерпретации. В обычном эксперименте с отложенным выбором (как и при проверке неравенств Белла) мы можем сохранить реализм частиц, приписав им скрытые параметры, но пожертвовав для этого локальностью. Именно это предлагается в Бомовской механике. Однако в эксперименте с квантовым отложенным выбором мгновенной корреляции между выбором, что наблюдать, и свойствами частицы недостаточно для объяснения плавного перехода от корпускулярного поведения к волновому. Как и в случае нарушения неравенств Леггета, мы снова вынуждены отказаться от предположения, что у частицы есть определенные свойства, не зависящие от наблюдений.

Еще одним аргументом в пользу квантового реализма можно считать эксперименты с квантовым ластиком¹⁰. Вместо того чтобы наблюдать, через какую щель (каким путем) прошли фотоны, тем самым влияя на них, можно «пометить» их информацией с помощью вспомогательных запутанных фотонов. Когда основные фотоны промаркированы, интерференционная картина исчезает, но если после прохождения фотонов через щели информацию об их пути стереть, интерференционная картина появится вновь. Создается впечатление, что квантовые свойства не исчезают безвозвратно после измерения, а смешанное состояние можно снова превратить в суперпозицию.

В экспериментах, объединяющих механизм квантового ластика и отложенного выбора, можно сначала зарегистрировать фотон, а уже потом решать, как он должен себя вести. Причем физическая локальная связь между выбором на-

⁶ *Wheeler J.A.* Quantum Theory and Measurement. Princeton, 1983. P. 182–213.

⁷ *Jacques V. et al.* Experimental realization of Wheeler's delayed-choice gedanken experiment // *Science*. 2007. Vol. 315(5814). P. 966–968.

⁸ *Manning A. G. et al.* Wheeler's delayed-choice gedanken experiment with a single atom // *Nature Physics*. 2015. Vol. 11. P. 539–542.

⁹ *Peruzzo A. et al.* A quantum delayed-choice experiment // *Science*. 2012. Vol. 338(6107). P. 634–637.

¹⁰ *Ma X., Kofler J., Zeilinger A.* Delayed-choice gedanken experiments and their realizations. URL: <https://arxiv.org/abs/1407.2930> (дата обращения: 04.07.2016).

блюдателя и интерференцией исключается. И вновь была продемонстрирована нелокальность не только в пространстве, но и во времени. Экспериментаторы сделали вывод, что не существует совместимой с экспериментом наивной реалистичной картины, где поведение частицы причинно независимо от выбора наблюдателя. Другой результат эксперимента связан с ретро-причинностью. Может показаться, что после регистрации фотона, выбирая тип детектора, наблюдатель может заставить фотон в прошлом проявиться как частица или как волна, что противоречит специальной теории относительности. Однако парадокса можно избежать, если измерение в прошлом рассматривать не как что-то неизменное, а как связанное с измерениями в будущем. Например, ряд авторов¹¹ предлагают расширить утверждение Уилера о том, что явление не является явлением, пока оно не зарегистрировано, так, что явление не имеет смысла, пока оно не будет соотнесено с другими зарегистрированными явлениями, в том числе в будущем. Это не значит, что мы изменяем прошедшие события. Можно сказать, что мы просто получили дополнительную информацию или новое знание, которые изменили наше представление о результатах эксперимента в прошлом. А можно сказать, что пока в системе еще сохранялась возможность в будущем получить информацию о пути фотона, интерференция не было. Когда позже эта возможность исчезла, интерференция в прошлом тоже исчезла. Другими словами, получая новую информацию в настоящем, наблюдатель или система воссоздают прошлое. Прошлое как будто связано со своими возможными последствиями.

Из результатов перечисленных экспериментов следуют, как минимум, три вывода. Во-первых, они соответствуют предсказаниям квантовой теории. Во-вторых, можно считать опровергнутыми утверждения классического реализма о том, что свойства квантовых объектов локальны и существует независимо от наблюдения¹². В-третьих, конкуренция между квантовым анти-реализмом и квантовым реализмом будет продолжаться до тех пор, пока мы не поймем, как возможные состояния из суперпозиции переходят сначала в смешанное состояние, а затем в одно из наблюдаемых? А также, почему разложение возможных состояний зависит от знания и выбора наблюдателя? И, что означает пространственно-временная нелокальность квантовых корреляций?

Одно из возможных направлений поиска ответов состоит в объединении в рамках квантового реализма двух подходов: модального и информационного. Использование модальных категорий возможное-потенциальное и действительное-актуальное к квантовым явлениям имеет долгую традицию¹³. Гейзенберг писал о возможностях, как аналоге «потенций» Аристотеля, существующих между объективной материальной и субъективной реальностями¹⁴. Фок рассматривал возможные состояния квантового поля как объективные потен-

¹¹ *Ma X. et al.* Experimental delayed-choice entanglement swapping // *Nature Physics*. 2012. Vol. 8(6). P. 479–484.

¹² Следует признать, что для большого числа работающих физиков результаты перечисленных экспериментов не являются достаточным основанием для отказа от привычных представлений о реальности.

¹³ См.: *Севальников А.Ю.* Интерпретации квантовой механики: В поисках новой онтологии. М., 2009; *Терехович В.Э.* Модальные подходы в метафизике и квантовой механике // *Метафизика*. 2015. № 1. С. 129–152.

¹⁴ *Гейзенберг В.* Шаги за горизонт. М., 1987. С. 222–223.

ции к осуществлению, а вероятность как численную оценку потенциальных возможностей. Поппер считал, что волновая функция описывает не свойства объектов, а их предрасположенности проявлять при измерении те или иные возможные свойства. В одной из версий современной модальной интерпретации¹⁵ вводится онтология с двумя несводимыми друг к другу и равно реальными сферами возможности и действительности. Причем каждая возможность физически влияет на сферу действительности, даже если она никогда не станет актуальной. Метафизическая установка, в которой потенциальные состояния становятся актуальными, на вопрос «Что существует до наблюдения?» может ответить так: все альтернативные возможные квантовые явления, свойства или истории находятся в потенциальном модусе бытия и обладают определенными предрасположенностями к актуальному существованию. Амплитуду вероятности можно рассматривать как численную меру таких предрасположенностей.

Однако признание двух модусов бытия еще не объясняет, каким образом факт наблюдения способствует переходу квантовых состояний в актуальность. Не случайно понятия «потенциальное» и «актуальное» используются сторонниками как квантового анти-реализма, так и квантового реализма. В одних интерпретациях благодаря наблюдению актуальной становится только одна возможность, оставшиеся или исчезают, или остаются в потенциальном модусе. В других считается, что каждое возможное состояние реализуется как актуальное, а наше сознание выбирает эти состояния в одной из возможных ветвей Вселенной. В-третьих, реализуется вся совокупность возможных состояний системы наблюдатель-прибор-объект, а мы лишь наблюдаем совокупный результат их совместной актуализации.

Прояснить ситуацию мог бы информационный подход, который анализирует отношения двух понятий: знание наблюдателя и информация. К сожалению, в информационных интерпретациях квантовой механики часто возникает путаница из-за различного понимания термина «информация». Сторонники квантового анти-реализма под информацией понимают или знание наблюдателя, уменьшающее неопределенность, или степень уверенности конкретного человека (пси-эпистемологический подход). Сторонники квантового реализма рассматривают информацию как самостоятельную сущность, не обязательно связанную с человеком (пси-онтический подход).

В качестве примера нечеткого использования понятий знание и информация приведем мнения двух признанных специалистов. Войцех Цурек описывает, как из теории декогеренции следуют онтологические свойства векторов состояний, а объективное существование отобранных состояний приобретает через эпистемологическую «передачу информации»¹⁶. Однако решающую роль в определении того, какие состояния квантовых систем могут обнаруживаться наблюдателями, играет степень коррелированности или распространенности информации. Информация усиливается за счет ее распространенности или избыточности¹⁷. Антон Цайлингер, с одной стороны, считает, что не мо-

¹⁵ *Lombardi O., Castagnino M.* A modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics // *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics.* 2008. Vol. 39(2). P. 380–443.

¹⁶ *Zurek W. H.* Decoherence and the transition from quantum to classical-revisited // *Los Alamos Science.* 2002. Vol. 27. P. 86–109.

¹⁷ *Zurek W. H.* Quantum darwinism // *Nature Physics.* 2009. Vol. 5. No. 3. P. 181–188.

жет быть обосновано понятие реальности без возможности высказывать о ней утверждения для получения информации о ее свойствах. Одновременно, он возражает против субъективистской интерпретации роли наблюдателя: «Ясно, что сознание ни в коей мере не влияет на частицу»¹⁸.

Чтобы мы не понимали под информацией, без нее мы вряд ли обойдемся, если хотим понять, что происходит в квантовых экспериментах. Но для этого необходимо найти ответы на несколько вполне метафизических вопросов. Какова разница между информацией и знанием наблюдателя? Есть ли у информации и знания носитель, и кто или что их воспринимает? И, наконец, каким образом информация и знание превращаются в объекты?

Похоже, что с классическим реализмом для квантовых объектов можно попрощаться. Но что дальше? Возможно, вместо проблемы реальности и нелокальности квантовых объектов, следует сосредоточиться на проблеме реальности и нелокальности знания и информации о потенциальных и актуальных свойствах этих объектов.

А.Ю. Севальников: Спасибо, Владислав Эрикович! Я сейчас попытаюсь сформулировать некоторые принципы, в рамках которых удастся ответить на ряд вопросов, которые только что были озвучены в предыдущем сообщении. По сути дела, это ответ на вопрос о загадке, а точнее о «тайне квантовой механики», о которой говорил Ричард Фейнман и, который считал, что никто и никогда не сможет разрешить эту загадку. Свое выступление хотелось предварить известной фразой Данте Алигьери из «Божественной комедии»: «Оставь надежду всяк сюда входящий». «Тайну» квантовой механики действительно невозможно постичь, если подходить к ней с грузом классических новоевропейских представлений, как философских, так и физических, касающихся концепций реальности и существования. Единственный верный призыв, как мне представляется, это тот, что часто озвучивается профессурой в самом начале курса лекций по квантовой механике: «Забудьте все, чему мы вас учили прежде!». Круглый стол проходит в рамках конференции «Квантовая механика и философский дискурс». Если касаться философии, то для меня совершенно очевидно, что квантовая механика требует радикального отказа от классических новоевропейских представлений о реальности и существовании. Выскажусь более точно, все эксперименты, проведенные в последнее время, требуют отказа от декартовской парадигмы, и касается это, прежде всего, пересмотра концепции “*res extensa*”, **концепции существования материального**, а если еще точнее, основ существования материального мира.

Квантовая механика – это наука о становлении наблюдаемого мира. Как этот мир становится? Выскажу, наверно, противоречивое и парадоксальное утверждение. Квантовая механика с одной стороны сложна, а с другой – банальна и примитивна. Сложна в том смысле, как о ней говорил Фейнман, что никто не может ее понять, а банальна в том, что описывает наиболее простой, элементарный уровень реальности – именно то, что конституирует наблюдаемый материальный мир.

В каком смысле материальный? Материя в квантовой механике должна пониматься радикально иначе, нежели чем в декартовской парадигме. Концепция “*res extensa*”, ведущая к геометрическому описанию этого мира, изначально не

¹⁸ Наука и предельная реальность: квантовая теория, космология и сложность. М.; Ижевск, 2013. С. 176–185.

полна, и требует пересмотра. Прежде чем перейти к изложению своей концепции, остановлюсь, и очень кратко, на одном вопросе. Утверждая, что квантовая механика разрывает с декартовскими представлениями, я никакого открытия не делаю, об этом давно говорится многими исследователями. Однако часто можно слышать утверждения, что в квантовой механике больше нет разделения между “*res extensa*” и “*res cogitans*”. Принцип объективности здесь больше не работает. Вот с этим утверждением я категорически не согласен. Да, человек играет существенную роль в этом мире, занимает центральную роль, если вспомнить антропный принцип, но квантовая механика просто говорит нечто иное и об ином. Она говорит о материальном, и об особом понимании этой материальности.

И вот здесь я и перейду к «тайне» квантовой механики по Фейнману. Фейнман указывает на два принципа, на которых базируется квантовая механика. Он утверждает, что эти принципы ниоткуда не выводятся и не вытекают, более того, его позиция достаточно категорична, и он заявляет, что никто в мире и никогда суть этих принципов не сможет объяснить, и в этом и состоит тайна квантовой механики. Кратко напомним, о чем конкретно говорит Фейнман. Прежде чем сформулировать принципы квантовой механики, им предварительно вводится понятие «идеального опыта», т. е. опыта, в котором отсутствуют неопределенные внешние влияния, и нет никаких не поддающихся учету изменений, колебаний и т. д. Точная формулировка будет такова: «Идеальным опытом называется такой, в котором все начальные и конечные условия опыта полностью определены»¹⁹. Таковую совокупность начальных и конечных условий он называет «*событием*». «Событие» – это переход от начального состояния к конечному. Далее, важным является то, как и каким образом описывается это событие. Событие описывается так называемой амплитудой вероятности, которая не принадлежит полю действительных чисел, и является величиной комплекснозначной. По Фейнману: «Новый, выдвигаемый квантовой механикой способ изображать мир – новая система мира – состоит в том, чтобы задавать амплитуду любого *события*, которое может случиться. Если событие состоит в регистрации частицы, то можно задавать амплитуду обнаружения этой частицы в тех или иных местах и в то или иное время. Вероятность обнаружить частицу тогда будет пропорциональна квадрату абсолютной величины амплитуды»²⁰. Вводя понятие события и амплитуды вероятности, Фейнман формулирует основополагающие принципы квантовой механики. Их всего два.

«1) если событие может произойти несколькими взаимноисключающими способами, то амплитуда вероятности события – это сумма амплитуд вероятностей каждого отдельного способа. Возникает интерференция. $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, $P = |\varphi_1 + \varphi_2|^2$,

2) если ставится опыт, позволяющий узнать, какой из этих взаимно исключающих способов на самом деле осуществляется, то вероятность события – это сумма вероятностей каждого отдельного способа. Интерференция отсутствует. $P = P_1 + P_2$ »²¹.

Собственно, по Фейнману, существование двух этих принципов и есть некоторая тайна, которую никто не сможет объяснить. Он пишет далее: «Быть может, вам хочется выяснить: «А почему это? Какой механизм прячется за этим

¹⁹ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3–4. М., 1977.

²⁰ Там же.

²¹ Там же. С. 217.

законом?» Так вот: никому никакого механизма отыскать не удалось. Никто в мире не сможет вам «объяснить» ни на капельку больше того, что «объяснили» мы. Никто не даст вам никакого более глубокого представления о положении вещей. У нас их нет, нет представлений о более фундаментальной механике, из которой можно вывести эти результаты»²². И в другом месте: «Самый основной элемент таинственного поведения в самой странной его форме, <...> которое невозможно, *совершенно, абсолютно* невозможно объяснить классическим образом. В этом явлении таится самая суть квантовой механики. На самом деле в ней имеется только *одна* тайна. Мы не можем раскрыть ее в том смысле, что не можем «объяснить», как она работает»²³. Или еще более радикально в другом месте Фейнман утверждает, что «никто еще не нашел отгадки этой головоломки. <...> Разгрызть этот орешек человеку не по зубам, ибо *такова природа вещей*»²⁴.

Мы с Фейнманом согласимся, что в рамках классических представлений эти два принципа не находят своего объяснения. Ни с точки зрения классической физики, и что более важно, с точки зрения всей новоевропейской философии. И здесь мы подходим к основному нашему утверждению. Для того чтобы понять суть квантовомеханических явлений, необходима иная философия. О необходимости новой «квантовой философии» говорили, начиная уже с Гейзенберга, Шредингера и Бора. И здесь предлагалось множество подходов. Я не буду их здесь критиковать. Мое сообщение посвящено другой цели. Нами предлагается такая сетка понятий, в рамках которой возможны две вещи. Во-первых, это дать объяснение тех принципов, которые описал Фейнман. И, во-вторых, сформулировать те понятия, в рамках которых становится возможным получение, вывод основных квантовомеханических уравнений. Исходя из всех ранее предлагавшихся подходов к трактовке квантовой теории этого невозможно сделать.

Я настаиваю: все то, о чем идет речь в математическом формализме квантовой механики, и что неизменно подтверждается всеми опытами, ведет с одной стороны к новой философии, а с другой – к конкретному результату в области физики. Мы можем получить и вывести основные уравнения квантовой механики, что ранее никому не удавалось сделать.

Повторю еще раз, все последние опыты и эксперименты в области квантовой физики однозначно указывают на то, что квантовые объекты существуют иначе, нежели чем классические. «Атомы – не вещи!», не уставал повторять Гейзенберг. Суть этого высказывания состоит в том, что если ограничиться только понятием наблюдаемого, или актуального бытия, то невозможно понять суть квантовых феноменов. Если подвести итоги целого ряда исследований по фундаментальным вопросам квантовой механики, а именно результатов опытов по проверке эффектов ЭПР-парадокса, неравенств Белла, Легетта, Легетта-Гарга, «экспериментов с отложенным выбором», а также опытов по реализации «квантового ластика», то вывод становится однозначным. До акта измерения квантовому объекту невозможно приписать конкретных наблюдаемых свойств, они возникают во время «наблюдения» в соответствии с двумя правилами Фейнмана, о которых говорилось выше.

²² Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3–4.

²³ Там же. С. 203.

²⁴ Там же. С. 218.

Суть квантовых феноменов состоит в том, что необходимо различать и вводить разные модусы сущего. Кроме бытия актуального, «наблюдаемого», с которым имела дело вся классическая физика, как минимум, необходимо различать еще один модус существования, отличный от актуального, а именно бытие возможного. По сути дела, это и есть модальный подход в интерпретации квантовой механики, о чем выше говорилось Владиславом Тереховичем.

Уточню свою позицию. Если быть предельно кратким и признать полностью квантовой механики, в смысле Эйнштейна, то необходимо признать, что онтологический референт, связанный с волновой функцией, не может принадлежать пространственно-временному континууму. Впервые об этом стал говорить Гейзенберг, утверждая, что электрон при своем движении не может обладать траекторией в атоме. Ему с 1926 г. возражал Эйнштейн. Открытие принципа неопределенности в 1927 г. усиливает позиции Гейзенберга. Из этого принципа явно следовало, что, как минимум, квантовый объект при своем движении не может обладать либо координатой, либо импульсом. Ключевой стала работа Эйнштейна, Подольского и Розена в 1935 г., где был сформулирован ЭПР-парадокс. Вывод из этой работы однозначен, и он четко формулируется Эйнштейном с сотрудниками. Из работы следует, что или 1) квантово-механическое описание реальности посредством волновой функции неполно или 2) когда операторы, соответствующие двум физическим величинам, не коммутируют, эти две величины не могут одновременно быть реальными.

Является показательной судьба этого вывода. Если окинуть взором все последующие дискуссии, опыты по проверке ЭПР-парадокса, то видно, что обсуждалось все что угодно, но только не основной вывод этой работы! Обсуждались и обсуждаются т. н. «сепарабельность» или «несепарабельность», целостность, или «холизм» квантовых явлений, лавинная доля работ посвящена локальному реализму, или наоборот реализму нелокальному. Как бы эти работы не отличались друг от друга, есть нечто общее, что их объединяет. Квантовые феномены рассматриваются в прокрустовом ложе декартовской парадигмы, а именно в попытке так иначе рассматривать квантовые феномены, осуществляющиеся в пространстве и времени. Здесь мы ни йоту не отходим от декартовской парадигмы, от попытки понимания материи как «*res extensa*». Как сама материя, так и ее движение рассматриваются в пространстве и времени. Как положения Клиффорда, так и программа геометризации физики Эйнштейна полностью опираются на эти философские идеи. Собственно, Эйнштейн, когда говорил о неполноте квантовой теории, надеялся, что ее уравнения будут получены в будущем из более общей теории, связанной с идеей геометризации материи. Вектор развития физики развернулся в иную сторону. Опять же в рамках выводов Эйнштейна, которые, как он надеялся, никогда не подтвердятся. «Если квантовая механика права, то мир сошел с ума!» – говорил он. В опытах мы видим, как квантовую нелокальность, по Эйнштейну – «действие духов на расстоянии», так и четкое подтверждение его вывода о «нереальности» свойств квантового объекта до наблюдения. Совсем не случайно вместе с рождением квантовой механики было введено два рода характеристик квантовых объектов – «наблюдаемые» и «ненаблюдаемые». «Ненаблюдаемое» описывается как раз волновой функцией ψ , либо оператором в ином представлении. То, что можно наблюдать хотя бы в принципе, описывается квадратом

модуля волновой функции, что и задает вероятность нахождения частицы в определенном состоянии $P = \psi\psi^* = |\psi|^2$. Эти два рода состояний – наблюдаемое и ненаблюдаемое – задают, с точки зрения философии, два различных модуля бытия, о чем впервые уже говорил Гейзенберг. «Ненаблюдаемое» связано с «бытием в возможности», принципиально описывается комплекснозначной волновой функцией, задает уровень «предгеометрии» (Дж.А. Уиллер), т. е. то, что находится до пространства–времени, а «наблюдаемое» описывает уже обычную классическую реальность, объекты в пространстве и времени. Между двумя уровнями бытия существует принципиальный разрыв, скачок, что в квантовой механике связано с т. н. «редукцией волновой функции», когда из множества возможных потенциальных состояний осуществляется только одна. Является весьма важным то, что осуществление той или иной возможности зависит от способа проведения эксперимента, что Вл.А. Фок обозначал как «относительность к средствам наблюдения», или что в другой формулировке носит название «обобщенного принципа Маха» (Ю.С. Владимиров). Это же обстоятельство подчеркивал и Уиллер в известной статье «Квант и Вселенная» на примере игры в 20 вопросов, когда говорил, что наблюдаемое в эксперименте зависит от «способа постановки вопроса». Интересен и вывод, который делал Уиллер. Подчеркивая, что квантовая механика ниоткуда не выводится, о чем уже говорилось выше, он утверждал, что можно сформулировать основной урок квантовой механики: «Никакое элементарное явление нельзя считать явлением, пока оно не наблюдалось»²⁵. Этот итог – перефразирование вывода Эйнштейна о том, что если квантовая механика полна, величина, описываемая двумя некоммутирующими операторами, не может быть величиной реальной.

Разделение двух модусов сущего, а в более широком плане введение модальной философии, и позволяет ответить на «загадку» о «тайне квантовой механики» по Фейнману. Предварительно сформулируем их еще раз:

«1) если событие может произойти несколькими взаимноисключающими способами, то амплитуда вероятности события – это сумма амплитуд вероятностей каждого отдельного способа. Возникает интерференция. $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, $P = |\varphi_1 + \varphi_2|^2$,

2) если ставится опыт, позволяющий узнать, какой из этих взаимно исключающих способов на самом деле осуществляется, то вероятность события – это сумма вероятностей каждого отдельного способа. Интерференция отсутствует. $P = P_1 + P_2$ ».

Напомним, Фейнман утверждал, что этот механизм квантовой механики никто не может объяснить, «раскрыть ее в том смысле, что не можем «объяснить», как она работает». В одном месте Фейнман говорил, что существует только один мир, и этот мир квантовый. Если опираться на такие философские представления о реальности, то дать ответ на «тайну» Фейнмана невозможно. Если же мы различаем уровни, модусы реальности, то загадка Фейнмана разрешается очень просто. Продемонстрируем это все на двухщелевом эксперименте, где, как говорил тот же Фейнман, может быть показана вся тайна квантовой механики. Итак, в первом случае, когда мы не различаем пути, не определяем, через какую из двух щелей проходит квантовая частица, в конце концов мы

²⁵ Уиллер Дж.А. Квант и вселенная. Астрофизика, кванты и теория относительности. М., 1982. С. 551.

наблюдаем интерференцию. Наличие интерференции указывает на то, что при «движении» в этом случае бытие частиц надо относить к модусу сущего, отличного от бытия актуального. В этом случае существование частиц отнесено к модусу «бытия возможного», где равновероятно существуют разные возможности, работает принцип суперпозиции состояний, различные возможные состояния взаимодействуют, существуя одновременно, что и дает наблюдаемую интерференцию. Здесь мы потому и складываем амплитуды вероятностей, так как именно они описывают потенциальное.

Во втором случае есть принципиальная возможность узнать, как прошли частицы, причем это не эфемерное «влияние субъекта», а конкретно «ставится опыт, позволяющий узнать, какой из этих взаимно исключающих способов на самом деле осуществляется» (Р. Фейнман). И в данном случае потенциальное «переводится» в актуальное. Тем или иным образом происходит актуализация возможного. Если в первом случае мы не можем отнести существование частицы к пространственно-временному континууму – ее существование описывается с точки зрения математики комплексными величинами, в некотором смысле негеометрическими, т. к. мы в данном случае не можем ввести понятий «больше–меньше», то во втором случае происходит актуализация частицы «здесь и сейчас». Мы ее можем наблюдать в пространстве, возможности в данном случае «схлопнулись» и из множества возможностей реализуется одна конкретная, ее существование уже описывается реальной величиной, обычной вероятностью $P = |\psi|^2$, связанной уже с полем действительных чисел. Если частицы в двухщелевом эксперименте проходят через два отверстия, то, соответственно, реализуется либо одна возможность, описываемая вероятностью P_1 , либо вторая возможность, связанная с вероятностью P_2 . Если мы наблюдаем множество событий, то и получаем суммарное наблюдаемое распределение вероятностей, даваемое суммой двух возможных событий $P = P_1 + P_2$.

Два принципа квантовой теории, о которых говорит Фейнман, соотносены с различными модальностями. Первый принцип описывает существование потенциального, а второй актуального. В этом и состоит достаточно простое объяснение «тайны квантовой механики». По сути – это основное, что я хотел бы сообщить. Однако не могу не остановиться и на других моментах, которые были затронуты выше в докладе Тереховича. В интерпретации квантовой механики мы с ним единомышленники, оба разделяем модальный подход, согласно которому необходимо разделение сферы сущего на потенциальное и актуальное. Но есть и различия в наших подходах. Я не считаю, что введение понятия информации может что-то решить в понимании квантовой теории. По сути дела, об этом говорил Фейнман: «Природа не знает, на что вы смотрите, на что нет, она ведет себя так, как ей положено, и ей безразлично, интересуют ли вас ее данные или нет»²⁶. Перефразируя, можно сказать, природе безразлично получаете вы информацию или нет. Она ведет себя так, как ей и положено.

Не случайно наша конференция носит название «Квантовая механика и философский дискурс». Я уверен, что понимание квантовой механики невозможно без философии. Еще раз подчеркну, радикально иной философии. Ошибка Фейнмана состояла в том, что он утверждал, что мир один, и этот мир квантовый. Если следовать такой позиции, то дать объяснение двум принципам

²⁶ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 8–9. М., 1977. С. 19.

Фейнмана невозможно. Волновая функция описывает иное понимание материи. Я мог бы сказать, что это новое понимание, отличное от декартовского, но самое интересное состоит в том, что это новое – хорошо забытое старое. Начиная с античности и вплоть до эпохи схоластики, да и позднее, материя мыслилась как возможность. Я оперирую этим понятием, бытием в возможности, и говорю, что это онтологический объект, на чем и настаивал Аристотель, утверждая, что это третье природное начало, отличающееся от того, что мы наблюдаем в этом мире. Я этот тезис принимаю, давно развиваю и отстаиваю в своих работах. Часто слышу возражения, что совсем не понятно – что это такое бытие возможности? Не только возражения, но и упрек, что все это некий реликт и архаика. Но так оно и есть на самом деле. Хочу напомнить, что оба из создателей математического формализма квантовой механики Гейзенберг и Шредингер позднее обратились к античной философии, к грекам. Я делаю то же самое, только моя позиция отличается. Есть состояние материи, которое находится не в пространстве и времени, существует иной модус бытия, отличающийся от наблюдаемого. В этой комнате находятся различные объекты – это есть то, что находится в пространстве и времени. Но «урок квантовой механики» состоит в том, что мы должны признать то, что находится до пространства и до времени, причем это некоторое материальное начало. Аристотель это начало обозначает термином *ὑποκειμενον*, дословно переводимым как «подлежащее» (лежащее внизу, в основе).

Существуют два подхода к пониманию материального, одно связано с именем Аристотеля, другой – с именем Платона. Аристотель настаивал на том, что материя не может быть описана математически. Платон говорит о возможности математического описания. Если следовать такой традиции и материю описывать математически, то встает вопрос, как может быть объяснить то, что не находится в пространстве и времени. Как описать то, что вне пространства и времени и *до* него? Раз вне пространства и времени, то отсюда следует, что мы не можем ввести здесь понятия «больше – меньше». Это можно сделать только в геометрическом пространстве, используя поле действительных чисел. Самый простейший объект, где нельзя ввести понятия «больше – меньше» – это поле комплексных чисел. Если мы вводим понятие элементарного события, перехода из начального состояния в конечное и описываем его комплекснозначной величиной, и рассматриваем множество таких событий, то отсюда удастся вывести основные уравнения квантовой механики. Я имею ввиду бинарную геометрофизику Ю.С. Владимирова. Если на эти элементарные события наложить так называемое уравнение фундаментальной симметрии, то удастся получить содержательную физику. Вплоть до прототипа уравнения Дирака, вывода структуры пространства-времени и еще много чего. Юрий Сергеевич находится здесь и сам может обо всем этом еще раз рассказать.

Весь пафос моего выступления состоит в двух утверждениях. Есть актуальное – то, что мы видим здесь и сейчас. Однако существует ряд феноменов, где пространственно-временное описание неприменимо. Это мир квантовых феноменов. Вся квантовая нелокальность связана с проявлением именно этого модуса. То, что мы видим – это своеобразная «проекция». Событие осуществляется либо одним способом, либо другим, в соответствии с двумя принципами Фейнмана. Первична не информация, а конкретное материальное окружение.

Информация вторична. В трактовке этих явлений мы изобретаем велосипед. Напомню, что у греков мир рассматривался как феноменальный, явленный. Как и у Хайдеггера, который рассматривал скрытое и явленное. Квантовая механика говорит о том же самом. Потенциальное, возможное может осуществляться по-разному. Тут работает так называемый принцип индивидуации материи. То, каким образом сущность выходит к проявлению, зависит от материи. Так было у греков, то же самое мы видим и в квантовой механике. Не сознание определяет квантовый феномен, и не знание, как и не информация, а вполне конкретное материальное. Как говорил В.А. Фок, здесь работает принцип относительности к средствам наблюдения. Все очень конкретно, у вас реализуется либо одна экспериментальная установка, либо иная. Находится в установке для лазерных фотонов светоделитель или не находится, включен у вас прибор или нет, и т. д. Это и есть тот самый обобщенный принцип Маха, о котором говорилось в докладе Ю.С. Владимирову. Сейчас мы говорим о принципе Маха, а греки вводили принцип индивидуации материи. Материя – это некая потенция, которая может быть явлена, осуществлена двумя взаимоисключающими способами, в соответствии с принципами Фейнмана. То, что мы наблюдаем в экспериментах, т. н. «относительность от средств наблюдения», или влияние пресловутого «наблюдателя», в природе осуществляется ежесекундно и во всей Вселенной. Выход к осуществленности – есть реализация потенции тем или иным образом. Ни сознание, ни знание здесь не влияют. Вселенная реализовалась задолго до нашего появления, до нашего вопрошания о ней, задолго до того, как мы стали получать о ней информацию.

Коснусь кстати и информационного подхода, о котором говорилось в докладе В.Э. Тереховича. В прошлом году были опубликованы результаты экспериментов совместной группы физиков из Франции и Австралии²⁷. Эти эксперименты показали невозможность пси-эпистемологического подхода, т. е. по сути дела информационного подхода, в трактовке квантовых явлений.

В заключение, затрону еще одну сторону квантовой механики. В ней существует гораздо больше проблем и вопросов, нежели активно обсуждается. Есть проблемы, например, калибровочной инвариантности волновой функции, и вопрос особого статуса импульсного представления. Остановлюсь только на последнем вопросе. О выделенности импульсного представления писал Вольфганг Паули. Тут парадоксальная вещь. Квантовую механику мы можем рассматривать в импульсном и координатном представлении. Они симметричны. Но, в импульсном представлении уравнения получаются более простыми. Ю.С. Владимиров приводит постоянно пример с атомом водорода, который рассматривает Фок, я тоже в свое время на него наткнулся. Там получается настолько простая и красивая модель атома водорода, где энергетические уровни рассчитываются фактически при помощи алгебры. Импульсное представление более простое, можно говорить о его первичности. Но тут возникает парадокс. Импульс связан со скоростью, а скорость мы всегда, при классическом подходе, связываем с пространством. Если же мы говорим, что импульсное представление первично, то как мы его можем оторвать от пространства? Нужно представить себе движение, импульс, в отрыве от координатного пространства. А импульсное представление

²⁷ Ringbauer M., Duffus B., Braciard C. et al. Measurements on the reality of the wavefunction // Nature Physics. 2015. No. 11. P. 249–254.

в квантовой теории задается независимо от координатного! Как это может быть, как можно оторвать импульс от координат? Практически никто этот вопрос не рассматривает. Ответ на него не возможен в рамках классической физики, в основе которой находится декартовская парадигма. А вот в бинарной геометрофизике Ю.С. Владимирова такой вопрос и ставится, и решается. Собственно, я и хочу теперь представить слово Юрию Сергеевичу.

Ю.С. Владимиров: Сделаю некоторые добавления, касающиеся импульсного и координатного представлений. Если мы ставим задачу перехода от более элементарных понятий к более сложным, точнее, от бинарной геометрии к обычной геометрии, то нам надо решить ряд проблем. Прежде всего, следует обосновать размерность и сигнатуру пространства–времени. Это один вопрос. Существует еще очень важный вопрос – а почему мы имеем квадратичное меропределение? Этот вопрос тянет за собой следующий. Уравнения, которыми мы описываем физическую реальность – это дифференциальные уравнения второго порядка. Почему они второго порядка, а не какого-то иного? Не третьего и четвертого, например? Почему, когда мы решаем задачу, нам нужно знать начальные условия и начальные импульсы? Это тоже вопросы, которые должны иметь решения. Бинарный подход позволяет решить эту задачу. В каком смысле?

Если у нас имеется два множества, то элемент одного множества характеризуется отношениями к эталонным элементам другого множества. Если мы берем элемент из множества начальных состояний, то он характеризуется отношениями к элементам множества в конечном состоянии. Но последние являются будущим по сравнению с предыдущим. А в предыдущем у нас тоже были какие-то эталонные элементы, относительно которых мы характеризуем этот элемент. Поэтому получается такая ситуация, что каждый элемент в этой системе бинарных отношений характеризуется двумя наборами элементов – из будущего и из прошлого. Предлагается считать, что это как раз и является истоком того, что у нас есть принцип неопределенности. Когда мы берем элемент, мы не знаем, какими характеристиками его описываем – из будущего или из прошлого.

И, кроме того, отсюда вытекает следующее. Если мы хотим строить представление о координатном пространстве, мы должны рассматривать параметры из прошлого, потому что все, что мы видим и знаем, мы получаем из прошлого. Оно уже осуществилось. А когда мы говорим об импульсах, то мы должны иметь в виду параметры из будущего. Мы еще не знаем, но только будущее определит, что куда полетит. Как писали Фейнман и Уиллер, ничто не может быть испущено, если нет приемника возможного поглощения. Бинарный подход позволяет решить эту задачу. Он мне представляется чрезвычайно важным и интересным.

И еще один пункт я хотел затронуть. Тут Андрей Юрьевич говорил об ошибке Фейнмана. У него действительно была большая ошибка допущена, потому что он говорил о дальнодействии, и при этом не учитывал реляционную природу пространства и времени. То есть он строил свою теорию на фоне готового, априорно заданного пространства–времени. Его формулировка предполагает, что пространство и время существуют изначально. В методе континуального интегрирования суммируются вклады от траекторий, находящихся в пространстве и времени. Но, оказывается, что с точки зрения последователь-

ной реляционной концепции, его подход не корректен. Вместо того чтобы суммировать по траекториям, нужно суммировать по всем возможным вкладам от событий окружающего мира в соответствии с принципом Маха. Если мы рассматриваем, например, фотоны, то особое внимание следует уделять испущенным, но еще не поглощенным фотонам. Имеется огромное количество вкладов от них в отношения между возможными поглотителями. И то, что в методе Фейнмана предлагается интегрировать, или суммировать, и является по сути учетом принципа Маха. В последовательном реляционном подходе (в концепции дальнего действия, которую пытался реализовать Фейнман) частица просто не идет вообще ни по какому пути. Как, например, в экспериментах с дифракцией фотонов на решетке, где нельзя сказать, что они проходят через ту или иную щель. Фотон вообще не идет ни по какому пути. Это ложная постановка задачи. Надо учитывать лишь фазовые вклады от атомов, составляющих решетку. Об этом писал сам Фейнман в своих лекциях по физике. Более того, при этом мы не должны рассуждать в рамках готового пространства и времени.

А.Ю. Севальников: Сделаю две ремарки. Для человека далекого от мира квантовой теории, все, что тут говорится, выглядит достаточно странно. Ну как, например, не двигается фотон? Однако хочу напомнить, что квантовая механика и началась с этого утверждения, о котором мною говорилось выше. Электрону в атоме мы не можем приписать никакой траектории. Позднее, Гейзенберг, разбирая двухщелевой эксперимент, утверждает, что электроны вообще не проходят ни через какие щели! Все это долго игнорировалось физиками. Но именно на это и указывают все последние эксперименты, о которых прекрасно рассказал Владислав Эрикович. Квантовым объектам вы не можете приписать априорные характеристики! Например, координату, а, следовательно, и определенную траекторию. Они просто не существуют. Далее. Вывод, который стал часто делаться, что мир теряет реальность, также не верен. Мир наблюдаемый реален, объективен, но конституируют его элементы, не принадлежащие этому миру! Вы все знаете искусство персидского ковра. Менее известно, что это тайное эзотерическое искусство. Персидский ковер тоже самое, что и мандала у буддистов. Это символ мира. Ковер – это мир, но у него есть ткач и он находится вне пространства и времени! В квантовой теории мы видим тоже самое.

Мир новоевропейской философии, и особенно науки Нового времени, стал слишком «плоским». Отказ от рассмотрения иных модусов бытия в свое время был оправдан, наука стала заниматься миром эмпирическим, точнее чувственным. Развиваясь на этом пути более трехсот лет, она столкнулась с феноменами квантовой механики, которые уже не укладываются в простую схему одномодусного мира. Квант разрывает скорлупу мира явленного и указывает на существование Иного. Новая механика требует, соответственно, и новой философии, которую мы настойчиво и пытаемся развивать уже четверть века. Такая философия, повторим еще раз, является разрывом с декартовскими субстанциалистскими идеями. Материальное не сводится к «*res extensa*», существует «непротяженное», что и конституирует мир наблюдаемый, мир геометрический, который не является первичным. Хотя мы и говорим здесь о «новой философии», но на самом деле она вовсе не нова. В данном случае мы осуществляем тот самый поворот-*Kehre*, о котором говорил Мартин Хайдег-

гер. Поворот к грекам, к той метафизике, которая давно была утрачена. Нужно различать «феноменальное» и «до-феноменальное». Феноменальное, явленное или «наблюдаемое» есть отражение иной плоскости бытия, реализацией сущности, причем актуализация происходит в зависимости от окружающей материи. Сама материя задает тот или иной конкретный вид явленного. Здесь мы возвращаемся к традиционной метафизике. Она дает возможность реального объяснения, в отличие от любой иной потенциальной «философской оптики», квантовых феноменов, но, что является более важным, задает и возможность принципов, в рамках которых становится вероятной формулировка начальных основ этой теории, что принципиально невозможно при всех иных метафизических установках.

А.И. Липкин: Я не соглашусь с моими коллегами. Возможна другая интерпретация. Я хочу вернуться от метафизики к физике. С моей точки зрения, изложение и трактовка обсуждаемых здесь экспериментов, которые осуществлены в последнее время, уже нагружены определенной интерпретацией. Поэтому осмысление того, что там получается, и наблюдается, может быть и иным. Для того, чтобы как-то прийти к адекватному взаимопониманию, нужно определить базовые категории, и в первую очередь, определить понятие состояния. Что касается меня, то я выделяю базовую конструкцию во всех разделах физики – это физический процесс, как процесс перехода объекта (физической системы) из одного состояния в другое. Так акцентируются понятия объекта и его состояния. Состояние описывается каким-то определенным набором измеримых величин. Измерение – это всегда, в конце концов, сравнение с некоторым эталоном, поэтому это не явление, а техническая операция. Оно может быть как угодно нагружено естественными процессами, но это не отменяет его принадлежности к технике. В случае квантовой механики такое понятие состояния будет сильно отличаться от понятия состояния, связанного с конкретным единичным измерением, которое тут часто имеется в виду, ибо центральный момент заключается в том, что согласно постулатам Борна, состояние задается распределениями вероятностей соответствующих измеримых величин. Это подразумевает, и об этом уже неоднократно тут говорилось, что измерений должно быть много – длинная серия актов измерений для того, чтобы получить распределение вероятностей. Одно измерение ничего не говорит о распределении вероятностей. Когда в квантовой механике речь идет об измерении, это всегда измерение распределения вероятностей. Другое дело, что здесь кроме распределения вероятностей отдельных величин еще требуется и измерение распределения вероятностей взаимно дополнительных (не коммутирующих) величин, что и делается в так называемом томографическом методе измерения. Таким образом, мы исходим из того, что состояние связывается с распределением вероятностей, и оно не зависит от измерения – измерение лишь проявляет соответствующее состояние. То есть мы можем говорить об *объективно существующих квантовых объектах и их состояниях* независимо от того произведено ли измерение. Но поведение этих объектов весьма непривычно, квантовомеханический объект не сводится ни к корпускулярному, ни к волновому. Это другой тип поведения, для которого формулировки в терминах локальности часто неадекватны, что и проявляется в обсуждаемых здесь экспериментах.

В этих экспериментах мы имеем дело с особой «холистской» нелокальностью, которая не приводит к нарушению принципов теории относительности, нет здесь эффекта дальнего действия, нет передачи воздействия или информации со сверхсветовой скоростью. Эта «холистская» нелокальность имеет место либо для перепутанных многочастичных состояний, либо для одночастичного состояния, когда за счет каких-то расщеплений (зеркалами или другими устройствами) создается много путей (в опытах по интерференции – частицы с самой собой). В этом случае у нас все равно состояние связано со всеми путями, по которым можно пройти. Эксперименты с «отложенным выбором» к этому мало что добавляют. Эффект в них заключается в следующем: если вы ставите зеркало или пытаетесь определить, по какому пути идет частица, то вы всегда вносите что-то в систему (система состоит из частицы и тех элементов, которые в нее добавлены – фильтры, зеркала и т. п.) и, естественно, меняете и ее, и ее состояние. И во всех этих экспериментах нетрудно указать, где это происходит.

А.Д. Панов: Мне кажется, что ко всем этим мыслям можно было прийти на заре специальной теории относительности. Почему? Пространство Минковского специальной теории относительности формулируется для событий. Что такое событие? Событие – это то, что должно быть чем-то помечено. При этом, как минимум два состояния должно быть пройдено, или больше. Поэтому уже на самом начальном уровне должно быть понятно, что геометрия должна быть бинарной. Мне кажется, что какую-то кривизну придется вводить в концепцию, но условия, философские основания крайне разумны.

Второе, по поводу импульсного представления в квантовой механике. Здесь есть одно совершенно тривиальное обстоятельство, чем отличается координатное представление от импульсного. Импульс сохраняется в отличие от координаты. И с этим связано колоссальное количество упрощений. Если мы приготовим волновой пакет свободной частицы, можно видеть, как он эволюционирует. Если мы посмотрим в координатном представлении, он, во-первых, перемещается с места на место, во-вторых, там происходят сложные осцилляции, он меняет форму. Это очень непростая эволюция. А если посмотреть на тот же самый пакет в импульсном представлении, он не меняет своей формы, у него только фазы меняются.

Приведу другой тривиальный пример. Допустим, мы производим измерение. Если мы производим измерение для координаты, то получаем определенное значение, если потом проводим повторное измерение координаты, то мы получим другое значение. Чем больше времени подождем, тем меньше будет похоже на начальное значение. А если мы проводим измерение импульса, то потом, сколько бы мы не повторяли это измерение, мы будем получать одно и то же. Здесь как на ладони видно, что должно быть все гораздо проще.

Г.Н. Сергиевская: У меня вопрос к Андрею Юрьевичу. Концепция очень красивая. Импонирует обращение к древним грекам – это азы, классика. Меня заинтересовал принцип индивидуации материи. Ваш принцип? Нет. Тем не менее, вы его применяете. Люди тоже частично материя. По отношению к человеческим существам принцип индивидуации работает?

А.Ю. Севальников: Здесь уже осуществляется выход за рамки квантовой механики. Да, у человека есть тело, материальное, но к одному телу понятие человека не сводится. У человека есть то, что выводит его за рамки этого мира,

с чем и связана возможность его свободного поведения. И это не сводимо к миру физики, в частности квантовой механики. Человека я не рассматриваю в рамках физического, а поэтому и не применял бы к нему всего того, что говорилось выше о квантовых объектах.

М.Г. Годарев-Лозовский: В отношении доклада Андрея Юрьевича, я бы высказал следующую мысль. С моей точки зрения, микрообъект вне измерения существует действительно как потенциальный объект. Но, потенциальный именно в гносеологическом смысле. Парадоксально то, что в онтологическом смысле этот же микрообъект в то же самое время существует как актуальный объект, но находящийся вне измерения. Я попытаюсь пояснить эту мысль на известном двухщелевом эксперименте. Есть источник микрообъекта, есть два возможных пути его движения в пространстве. И он регистрируется либо вблизи одной щели, либо вблизи другой. Мы ошибочно полагаем, что объект делает выбор и двигается по одному из путей. И мы его регистрируем вблизи одной из щелей, считая, что нам в этот момент становится известна его истинная траектория. В этом и есть существенная концептуальная ошибка. Во-первых, мне кажется, что он не движется по одной из двух возможных траекторий, а, как и полагал Р. Фейнман сразу по обеим! Атемпорально телепортируя между дискретностями каждой из траекторий, микрообъект еще и атемпорально туннелирует между двумя возможными путями. Ведь он не просто двигается, мерцая по каждой из траекторий, но еще и туннелирует между самими этими траекториями. То есть он может менять свой путь в процессе пути. А мы его фиксируем либо у одной щели, либо у другой, но это совсем не означает, что он прошел по тому пути, по которому, мы считаем, что он прошел. Таким образом реализуется принцип атемпоральности: некоторые параметры квантового микрообъекта как, например, направление поляризации, спин, или координаты изменяются атемпорально. Эксперименты с отложенным выбором не представляются парадоксальными, если учитывать этот принцип, предложенный нами в 2013 г.

Л.Г. Антипенко: У меня есть замечания относительно трех последних выступлений. Тут возникли недоразумения в силу определенной причины, и их легко можно устранить, если разобраться в этой причине. Когда мы указывали, что электрон или фотон не движется по траектории, то имели в виду, что движению в данном случае не присущ метрический характер. Здесь метрический аспект движения отсутствует, нет движения по классической траектории. Но это не означает, что устраняется *направление* движения. Поэтому во всех рассуждениях о состояниях движения микрообъектов следует учитывать данные проективной геометрии. Думаю, что, исходя из данного обстоятельства, А.Ю. Севальников и Ю.С. Владимиров отдают приоритет в квантовой механике импульсному представлению состояния движения. А вообще вопрос о подходе к идеологии квантовой механики со стороны проективной геометрии заслуживает особого внимания, и здесь стоит остановиться на его главных моментах.

Проективная геометрия позволяет выявить три отправных начала для трех фундаментальных типов геометрии: параболической (геометрия Евклида), эллиптической (геометрия Римана) и гиперболической (геометрия Лобачевского). Все три начала находятся в соответствии с тремя коническими сечениями однополостного или двухполостного конуса, которые суть парабола, эллипс (в частном случае – окружность) и гипербола. В двухмерном

пространстве на проективной плоскости парабола пересекается с бесконечно удаленной прямой в одной точке, эллипс – в двух мнимых точках, гипербола – в двух (вещественных) точках. Это приводит к тому, что геодезическая линия (прямая) в пространстве Лобачевского имеет две бесконечно удаленные точки, за которыми располагается принадлежащий ей мнимый отрезок. Поскольку прямая в пространстве Лобачевского есть не что иное, как линия движения, то и движение вещественной (фундаментальной) частицы распадается, соответственно, на два вида.

Эти геометрические закономерности, как известно, переносятся в специальную теорию относительности, в структуру четырехмерного пространства-времени (мир Минковского). В квантовой механике состояние движения описывается волновой функцией. В релятивистском варианте квантовой механики мнимое движение гиперболической геометрии сказывается на параметре времени. При полном решении квантово-релятивистского уравнения Дирака²⁸ параметр времени предстает в виде двух комплексно сопряженных чисел: it и $-it$ (имеется в виду производная волновой функции по времени, которая в релятивистской квантовой механике обычно трактуется как оператор, действующий на волновую функцию наряду с другими операторами). Кроме того, обращаясь к квантово-релятивистскому описанию свободного движения электрона, нам приходится представлять его в форме двух спиноров, по которым и разносятся параметры времени it и $-it$. Переход от одного спинора к другому совершается под воздействием антиунитарного оператора обращения времени, введенного в математический аппарат квантовой механики Е. Вигнером²⁹. (Пояснение: чтобы сохранить инвариантность уравнения Шредингера в отношении преобразования $t \rightarrow -it$, необходимо волновую функцию заменить на функцию комплексно-сопряженную и переменить знак у мнимой единицы, стоящей перед производной по времени).

С точки зрения спинорного исчисления трансформация it в $-it$ эквивалентна трансформации it в t (Э. Картан). Так что при квантово-релятивистском описании движения свободного электрона смена одного спинора другим означает преобразование вещественной величины времени в мнимую, и обратно.

Остается прояснить еще один немаловажный момент, связанный с поиском адекватной интерпретации спинорного представления о движении электрона. В результате решения уравнения Дирака имеется следующая особенность: место скорости движения электрона, которая не может быть равной скорости света, занимает световая скорость c . Сам Дирак по этому поводу писал так: «Поскольку электроны, наблюдаемые на практике, имеют скорости, существенно меньшие скорости света, то может показаться, что мы имеем здесь противоречие с экспериментом. Это, однако, не является действительным противоречием, поскольку теоретическая скорость в вышеприведенном заключении есть скорость в определенном момент времени, тогда как наблюдаемые скорости всегда являются средними скоростями по некоторому конечному интервалу времени. В дальнейшем при рассмотрении уравнений движения будет показано, что скорость вообще не является постоянной, но

²⁸ Антипенко Л.Г. О специфике квантово-релятивистского описания движения микрообъектов // Метафизика. 2015. № 2(16). С. 99–112.

²⁹ Вигнер Е. Теория групп и ее приложение к квантово-механической теории атомных спектров. М., 1961. С. 386–398.

быстро осциллирует вокруг среднего значения, которое согласуется с наблюдаемой величиной»³⁰. Однако ответа на вопрос, как же конкретно описывается эта осцилляция, не последовало.

При полном же, двухспинорном, решении дираковского уравнения становится понятно, что наблюдаемая скорость движения электрона действительно вычисляется как средняя скорость, но только исходя из наличия двух амплитуд вероятности, присущих двум ингредиентам состояния движения частицы, двум спинорам. В одном из них имеет место вещественная компонента времени (движение вперед), в другом – мнимая компонента времени (движение в обратном направлении). Так в квантовой механике обнаруживает себя мнимая часть геодезической линии, присущей геометрии Лобачевского, за которой стоит проективная геометрия.

А.В. Беляков: Вопрос к Андрею Юрьевичу. По поводу самого начала вашего доклада. Мне не понятно следующее. Вы начали с введения понятия события как ключевого понятия. А потом вводите события не совместимые. Когда вы говорите о событии, вы его воспринимаете как действительный предмет или как теоретический? Могут существовать два одинаковых события?

А.Ю. Севальников: Понятие ввел Фейнман, а я его использую. Событие естественно рассматривается как теоретический конструкт, который мы применяем в теории, но на этом все не заканчивается. Мы считаем, что этому теоретическому конструкту соответствует свой референт в бытии. Собственно, так строится весь концептуальный аппарат физики.

А.В. Беляков: Хорошо. Тогда что такое «взаимоисключающие события»? Как вы определяете, какие события взаимоисключающие, а какие нет? Второе. Вы квантовую механику не знаете. Вы используете философский дискурс для обоснования квантовой механики. Вы вводите понятие до квантовой механики. Каким образом?

А.Ю. Севальников: Взаимоисключающие события можно конечно определить в рамках логики, как у Аристотеля. Например, через понятия противоположного. Если не обращаться к философскому дискурсу, а рассматривать это понятие с позиции физики, то взаимоисключающими событиями в рамках двухщелевого эксперимента будут прохождение объекта либо через первую щель, либо через вторую. Или, как в мысленном эксперименте Гейзенберга с ящиком, разделенном пополам. Частица находится либо в одной половине ящика, либо во второй. Это тоже взаимоисключающие события.

А.В. Беляков: Давайте другой пример. Две точки. Частица попала в одну точку, частица попала в другую точку. Это взаимоисключающие события?

А.Ю. Севальников: Одна частица?

А.В. Беляков: Да.

А.Ю. Севальников: Одна частица может локализоваться только в одном состоянии из двух возможных. Что касается Вашего вопроса о построении квантовой механики, ответу следующее. Как происходит такое построение хорошо видно в теоретическом аппарате бинарной геометрофизики. А там задача ставится более глобальная, чем построение квантовой теории. Изначально вы даже не знаете понятия пространства и времени. От чего можно тогда оттолкнуться? Вы предполагаете, постулируете, что есть изначально некоторые объекты.

³⁰ Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. М., 1960. С. 361.

Ю.С. Владимиров их называет элементарными объектами. Можете назвать их монадами, как угодно. Но они существуют до пространства и времени. Как их описать? Самое простое – применить комплекснозначность, о чем я говорил выше. Так как здесь мы не можем ввести понятие «больше-меньше», описывающее пространственно-временной порядок, который представлен действительными числами. Множество элементарных объектов совершает множество переходов. Накладывая на эти переходы условие т. н. фундаментальной симметрии, являющееся аналогом принципа относительности, как бы вы попарно не выбирали эти элементы, сама функция от этого не меняется, и можно получить отсюда и квантовую механику, и реляционную концепцию пространства и времени.

А.В. Никулов: Квантовая механика в определенном смысле – это миф. В квантовую механику скорее верят, чем понимают. Фейнман утверждал, что никто не понимает квантовую механику. Он был не совсем прав. Он должен был сказать, что никто не понимает квантовые явления мира, внешнего по отношению к нашему сознанию. Мы можем не понимать явлений, так как не мы создали внешний мир. Но все теории возникают в нашем сознании. Поэтому мы можем и должны, рассмотрев любую теорию аналитически, понять ее однозначно. Мы обязаны осознать, вслед за критиками квантовой механики, Эддингтоном и Шредингером, что квантовая механика – это «не физическая теория, а уловка»³¹. Уловка возникла вследствие того, что Гейзенберг не учел, предлагая описывать наблюдаемые величины, что вводит в теорию процесс наблюдения. Эйнштейн в 1926 г. пытался убедить юного Гейзенберга, что «с принципиальной точки зрения желание строить теорию только на наблюдаемых величинах совершенно нелепо. Потому что в действительности все ведь обстоит как раз наоборот. Только теория решает, что именно можно наблюдать. Видите ли, наблюдение, вообще говоря, есть очень сложная система»³². Эйнштейн не смог убедить юного Гейзенберга. Зато Гейзенбергу удалось убедить несколько поколений ученых, что квантовая механика, в которой есть никак не описываемый процесс наблюдения, является научной теорией. Более того, большинство физиков до сих пор уверены, что в квантовой механике есть не процесс наблюдения, т. е. взаимодействие квантовой системы с сознанием наблюдателя, а процесс измерения, т. е. взаимодействие с измерительным прибором. Ложность этой уверенности легко понять, попытавшись ответить на вопрос: «Как измерительный прибор может обеспечить определенность результата второго наблюдения той же динамической переменной?» Этот вопрос демонстрирует, что уловкой является скачок Дирака или коллапс волновой функции. Это было ясно с самого начала, по крайней мере, для Эйнштейна. Но только немногие были согласны с Эйнштейном, например, Джон Белл: «Эйнштейн говорил, что теория определяет, что может быть “наблюдаемым”. Я думаю, он был прав – “наблюдением” – это крайне сложный процесс для теоретического описания. Поэтому такого понятия не должно быть в формулировке фундаментальной теории».

Многолетние споры о квантовой механике и многочисленные интерпретации стали возможны вследствие того, что многие ученые путают теорию с явлениями, которые она описывает. Поэтому большинство ученых до сих пор согласно с защитниками квантовой механики, а не ее критиками. Из-за это-

³¹ Шредингер Э. Наука и гуманизм. Физика в наше время. Ижевск, 2001. С. 40.

³² Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. М., 1989. С. 191–192.

го Джон Белл широко известен как автор неравенств Белла, но не как критик квантовой механики. В 1989 г. Белл говорил, что, когда верующие в квантовую механику «вынуждены признать некоторую двусмысленность привычных формулировок, они, тем не менее, продолжают настаивать, что общепризнанная квантовая механика прекрасно работает “во всех практических случаях”»³³. Белл, как и другие критики квантовой механики с этим соглашался. Поэтому важно подчеркнуть, что успешность квантовой механики сильно преувеличена. Она работает совсем не во всех практических случаях³⁴. Квантовая механика не может описать эффект Аронова-Бома, наблюдаемый в кольцах³⁵. Она не может изложить даже эффект Зеемана³⁶. Хотя в описании этих, как и многих других квантовых явлений, нет процесса наблюдения.

Г.Н. Сергиевская: Мне бы хотелось услышать формулировку проблем в квантовой механике. Как вы считаете, существуют ли философские проблемы не физические, а именно философские?

А.Ю. Севальников: Да, существуют. Но они касаются специфических проблем, а именно понимания материи, материального, а также пространства и времени. Это одновременно и философские проблемы, и проблемы физические. Квантовая теория описывает частный аспект проявления материи. Понятие возможного я беру из физики, это – волновая функция. Но трактую это понятие в рамках философии, в рамках модального подхода. То же самое касается понятия события. Далее, считаю, что материя подчиняется математическим, логосным принципам. В 60-е гг. Уиллером была предложена концепция предгеометрии. Он полагал, что свойства пространства и времени не первичны, а их должно что-то конституировать. В 1970-е гг. это пытался объяснить Р. Пенроуз с позиций своего твисторного подхода. До конца он с этой задачей не справился. А позднее она была успешно решена в бинарной геометрофизике Ю.С. Владимировым. Замечу, есть и подход А.П. Ефремова. Юрий Сергеевич использует комплекснозначные числа, а А.П. Ефремов гиперкомплексные числа. Здесь вроде бы физика, но при этом решаются и философские вопросы. В таком подходе четко видим то, что в свое время говорил Лейбниц. Пространство и время оказываются реляционными, но есть то, что их конституирует.

К.В. Копейкин: Андрей Юрьевич, у меня к вам вопрос. Вы считаете, что основная проблема связана с материей?

А.Ю. Севальников: Если говорить про квантовую механику, то да.

К.В. Копейкин: У меня вопрос про сознание. Скажите, пожалуйста, сознание присутствует в физической картине мира?

А.Ю. Севальников: Физическая картина мира описывает мир физических явлений. Мир необходимости, а не свободы, с чем и связано сознание. А если касаться квантовой механики, то мой ответ краток – сознания квантовая механика не описывает и не касается.

³³ Bell J. S. Against Measurement // Physics World. 1990. No. 3. P. 33-40.

³⁴ Nikulov A. Could ordinary quantum mechanics be just fine for all practical purposes? // Quantum Studies: Mathematics and Foundations. 2016. No. 3. P. 41–55.

³⁵ Gurtovoi V. L., Nikulov A. V. Energy of magnetic moment of superconducting current in magnetic field // Physica C: Superconductivity and its Applications. 2015. Vol. 516. P. 50–54.

³⁶ Nikulov A. The quantum mechanics is a non-universal theory. The realistic Schrodinger's and positivistic Born's interpretation of the wave function. URL: <http://arxiv.org/abs/1311.4760> (дата обращения: 01.05.2016).

К.В. Копейкин: Как говорил ваш коллега, Давид Израилевич Дубровский, объяснение сознания является самым тяжелым вопросом для материалистической философии. Потому что сознание направлено на что-то. А материя просто есть. У вас в научной картине мира сознание отсутствует, а знание о внешнем мире мы получаем через сознание, то тогда насколько полна такая картина мира? И не является ли проблема сознания все-таки первоочередной проблемой, которую нужно осмыслить как философскую?

А.Ю. Севальников: У меня контрвопрос к отцу Кириллу, как к богослову. Сознание – это продукт мозга?

К.В. Копейкин: Нет.

А.Ю. Севальников: Творца?

К.В. Копейкин: Конкретно человека.

А.Ю. Севальников: Оно связано с душой?

К.В. Копейкин: Да.

А.Ю. Севальников: А душа – это квантовый объект?

К.В. Копейкин: Квантовая механика – это некий способ описания реальности. Процесс взаимодействия моего сознания с тем, что я называю окружающей реальностью.

А.Ю. Севальников: О душе вы так и не ответили. Для меня человек – это существо, трансцендирующее по отношению к этому миру. Хайдеггер в свое время писал, что камень существует на обочине дороги, дерево и заяц существуют в лесу, а вот человек не существует, он экзистирует. Есть то, что нас выводит за рамки этого мира, сознание связано именно с этим трансцендентным началом, что и обеспечивает нашу свободу, точнее дает залог этой свободы. Вводить сознание в физическую картину мира – это физикализм, а я не физикалист, и не материалист, хотя сегодня только и говорил о материальном. Просто необходимо разделять сферы сущего, и не только материального бытия.

А.Н. Спасков: У меня вопрос к Владиславу. Электрон и фотон в том двухцелевом эксперименте обладают свободой выбора или нет?

В.Э. Терехович: Скажем так, использование этого понятия должно быть обосновано.

А.Н. Спасков: Хорошо, я уточню вопрос. Возможен другой подход к квантовым объектам. И в том контексте, в котором сейчас говорили о сознании, о квантовой механике, вся вселенная может обладать сознанием, но в разной степени. Исходя из этого, можно предположить, что квантовые объекты какими-то элементами сознания обладают. У нас две двери, мы знаем, что за одной дверью есть преступник, а за другой нет. Естественно, мы выбираем ту, где преступника нет. Из этих позиций можно рассмотреть элементарную частицу. Обладая зачаточным сознанием, она может регулировать свое поведение. Речь идет о том, что ее поведение недетерминировано.

В.Э. Терехович: Происходит выбор одного из свободных состояний. Можно сказать, отбор, и при этом его осуществляет сама система.

А.Н. Спасков: Это связано именно с природой сознания.

В.Э. Терехович: Прежде чем говорить о сознании, надо говорить об информации и о знании.

А.Ю. Севальников: Коллеги, я хочу подвести черту. Мы уже достаточно давно дискутируем и исчерпали лимит нашего времени. Подводя итог, хочу сказать несколько слов. Ясно, мы не смогли охватить всех аспектов квантовой

механики. В будущем, думаю, нам есть смысл собираться и обсуждать конкретные проблемы, касающиеся квантовой механики. Я надеюсь, что мы будем это осуществлять в стенах нашего Института и привлекать иных участников, которые не были по той или иной причине сегодня на нашем мероприятии. В заключение хочу поблагодарить всех участников Конференции и дискуссии. Мы будем рады видеть всех Вас на наших будущих мероприятиях.

Список литературы

- Антипенко Л.Г.* О специфике квантово-релятивистского описания движения микроробъектов // *Метафизика*. 2015. № 2(16). С. 99–112.
- Вигнер Е.* Теория групп и ее приложение к квантово-механической теории атомных спектров. М.: Изд. иностр. лит., 1961. 444 с.
- Дирак П.А.М.* Принципы квантовой механики. М.: Госиздат физико-математ. лит., 1960. 361 с.
- Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1989. 400 с.
- Гейзенберг В.* Шаги за горизонт. М.: Прогресс, 1987. 368 с.
- Годарев-Лозовский М.Г.* Проблема пространства и движения в квантовой механике // *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Философия, психология, социология*. 2015. Вып. 2(22). С. 48–54.
- Наука и предельная реальность: квантовая теория, космология и сложность / Ред.: Дж. Барроу, П. Дэвис, Ч. Харпер мл. М.; Ижевск: ИКИ, 2013. 664 с.
- Севальников А.Ю.* Интерпретации квантовой механики: В поисках новой онтологии. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 192 с.
- Терехович В.Э.* Модальные подходы в метафизике и квантовой механике // *Метафизика*. 2015. № 1. С. 129–152.
- Уилер Дж.А.* Квант и вселенная. Астрофизика, кванты и теория относительности. М.: Мир, 1982. 560 с.
- Шредингер Э.* Наука и гуманизм. Физика в наше время. Ижевск: Изд. НИЦ РХД, 2001. 64 с.
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 3–4. М.: Мир, 1977. 498 с.
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 8–9. М.: Мир, 1978. 530 с.
- Bell J.S.* Against Measurement // *Physics World*. 1990. Vol. 3. P. 33–40.
- Gurtovoi V.L., Nikulov A.V.* Energy of magnetic moment of superconducting current in magnetic field // *Physica C: Superconductivity and its Applications*. 2015. Vol. 516. P. 50–54.
- Jacques V. et al.* Experimental realization of Wheeler's delayed-choice gedanken experiment // *Science*. 2007. Vol. 315(5814). P. 966–968.
- Leggett A.J., Garg A.* Quantum mechanics versus macroscopic realism: Is the flux there when nobody looks? // *Physical Review Letters*. 1985. Vol. 54. No. 9. P. 857.
- Leggett A.J.* Nonlocal hidden-variable theories and quantum mechanics: An incompatibility theorem // *Foundation of Physics*. 2003. Vol. 33. No. 10. P. 1469–1493.
- Lombardi O., Castagnino M.* A modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics // *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. 2008. Vol. 39(2). P. 380–443.
- Ma X. et al.* Experimental delayed-choice entanglement swapping // *Nature Physics*. 2012. Vol. 8(6). P. 479–484.
- Ma X., Kofler J., Zeilinger A.* Delayed-choice gedanken experiments and their realizations. URL: <https://arxiv.org/abs/1407.2930> (дата обращения: 04.07.2016).

Manning A.G. et al. Wheeler's delayed-choice gedanken experiment with a single atom // *Nature Physics*. 2015. Vol. 11. P. 539–542.

Merali Z. Quantum 'spookiness' passes toughest test yet // *Nature*. 2015. Vol. 525(7567). P. 14–15.

Nikulov A.V. Could ordinary quantum mechanics be just fine for all practical purposes? // *Quantum Studies: Mathematics and Foundations*, 2016 Vol. 3. P. 41–55.

Nikulov A.V. The quantum mechanics is a non-universal theory. The realistic Schrodinger's and positivistic Born's interpretation of the wave function. URL: <http://arxiv.org/abs/1311.4760> (дата обращения: 01.05.2016).

Pan J.W. et al. Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberger–Horne–Zeilinger entanglement // *Nature*. 2000. Vol. 403 (6769). P. 515–519.

Peruzzo A. et al. A quantum delayed-choice experiment // *Science*. 2012. Vol. 338(6107). P. 634–637.

Ringbauer M., Duffus B., Braciard C. et al. Measurements on the reality of the wave-function // *Nature Physics*. 2015. No. 11. P. 249–254.

Robens C. et al. Ideal negative measurements in quantum walks disprove theories based on classical trajectories // *Physical Review X*. 2015. Vol. 5. No. 1. P. 011003.

Wheeler J.A. *Quantum Theory and Measurement* / Eds. J.A. Wheeler and W.H. Zurek. USA: Princeton University Press, 1983. 811 p.

Zurek W. H. Decoherence and the transition from quantum to classical-revisited // *Los Alamos Science*. 2002. Vol. 27. P. 86–109.

Zurek W. H. Quantum darwinism // *Nature Physics*. 2009. Vol. 5(3). P. 181–188.

Problem of realism in modern quantum mechanics. Materials of discussion

Participants:

Leonid Antipenko

CSc in Philosophy, Senior Research Fellow. Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences. 12/1 Goncharnaya Str., Moscow, 109240, Russian Federation; e-mail: chistrod@yandex.ru

Alexander Belyakov

Assistant. Scientific-theological center of interdisciplinary studies, St. Petersburg State University. 2/11 9th Line of Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199034, Russian Federation; e-mail: tscr@mail.ru

Maxim Godarev-Lozovsky

Russian Christian Humanitarian Academy (St. Petersburg). 15 Fontanka Embankment, Saint Petersburg, 191011, Russian Federation; e-mail: godarev-lozovsky@yandex.ru

Kirill Kopeikin

CSc in Sciences, CSc in theology. Director. Scientific-theological center of interdisciplinary studies, St. Petersburg State University. 2/11 9th Line of Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199034, Russian Federation; the Vice-rector. St. Petersburg Orthodox theological Academy. 17 Obvodnogo Kanala Embankment, Saint Petersburg, 191167, Russian Federation; e-mail: kirill.kopeykin@mail.ru

Arkadiy Lipkin

DSc in Philosophy, Professor. Moscow Institute of Physics and Technology (State University). 9 Institutskiy lane, Dolgoprudny, 141701, Russian Federation; e-mail: arkadiy.lipkin@gmail.com

Alexey Nikulov

CSc in Physics and Mathematics, Senior Research Fellow. Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials, Russian Academy of Sciences. 6 Academician Osip'yan Str., Chernogolovka, Moscow, 142432, Russian Federation; e-mail: nikulov@iptm.ru

Alexander Panov

DSc in Physics and Mathematics, Senior Research Fellow. Lomonosov Moscow State University. GSP-1, 1/2 Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation; e-mail: panov@dec1.sinp.msu.ru

Andrei Sevalnikov

DSc in Philosophy, Head of the Department. Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences. 12/1 Goncharnaya Str., Moscow, 109240, Russian Federation; e-mail: sevalnicov@rambler.ru

Galina Sergievskaja

Lomonosov Moscow State University. GSP-1, 1/2 Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation.

Alexandr Spaskov

CSc in Philosophy, assistant professor. Institute of Philosophy, National Academy of Sciences of Belarus. 1/2 Surganov Str., Minsk, 220072, Republic of Belarus; e-mail: a.spaskov@gmail.com

Vladislav Terekhovich

CSc in Philosophy, workshop scientific secretary. Saint Petersburg State University. 5 Mendeleev line, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation; e-mail: v.terekhovich@gmail.com

Yuri Vladimirov

DSc in Physics and Mathematics, Professor. Lomonosov Moscow State University. GSP-1, 1/2 Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation; e-mail: yusvlad@rambler.ru

This publication represents the materials of the discussion that took place in a form of a “round table” during the conference “Quantum Mechanics and Philosophical Discourse” (April 14–15, 2016, RAS Institute of Philosophy, Moscow, Russia). This discussion gives information, how the outcome of quantum experiments can change the notion of reality. Experimental checks of Bell’s theorem, Leggett inequality, Leggett–Garg inequality and experimental delayed choice confirm, that for quantum objects it is necessary to revise classical realism very seriously. Different approaches to interpretation of observed phenomena also discussed. Within a framework of approach of modal metaphysics is shown how to resolve traditional paradoxes of quantum theory in particular it is shown for the first time what the “secret of quantum theory”, formulated by Richard Feynman, is related to.

Keywords: quantum mechanics, ontology, metaphysics, mode of existence, potentiality, actuality, Mach’s principle, individualization principle, time

References

- Antipenko, L.G. "O specificke kvantovo-relativistskogo opisania dvigeniya mikroobjektov" [About specifics of quantum-relativistic description of the motion of microscopic objects], *Metaphysics*, 2015, no. 2(16), pp. 99–112. (In Russian)
- Barrow, J., Davies, P., Harper, C. Jr. (eds.) *Nauka i predel'naya realnost'* [Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology and Complexity]. Moscow-Izhevsk: IK Publ. 2013. (In Russian)
- Bell, J. S. "Against Measurement", *Physics World*, 1990, vol. 3, pp. 33–40.
- Dirac, P. A. M. *Principy kvantovoj mehaniki* [The Principles of Quantum Mechanics]. Moscow: Gosizdat Publ., 1960. 361 pp. (In Russian)
- Feynman, R., Leighton, R. B. & Sands, M. *Fejnmanovskie lekicii po fizike* [Feynman Lectures on Physics]. Part 3–4. Moscow: Mir Publ., 1977. (In Russian)
- Feynman, R., Leighton, R. B. & Sands, M. *Fejnmanovskie lekicii po fizike* [Feynman Lectures on Physics]. Part 8–9. Moscow: Mir Publ., 1977. (In Russian)
- Godarev-Lozovsky, M. G. "Problema prostranstva i dvizheniya v kvantovoi mekhanike" [The Problem of space and movement in quantum mechanics], *Vestnik Permskogo Universiteta, ser. filozofiya, psikhologiya, sotsiologiya* [Herald of Perm University. Series: Philosophy, Psychology, Sociology], 2015, vol. 2(22), pp. 48–54. (In Russian)
- Gurtovoi, V. L. & Nikulov, A. V. "Energy of magnetic moment of superconducting current in magnetic field", *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 2015, vol. 516, pp. 50–54.
- Heisenberg, W. *Fizika i filozofija. Chast' i celoe* [Physics and Philosophy]. Moscow: Nauka Publ., 1989. 400 pp. (In Russian)
- Heisenberg, W. *Shagi za gorizont* [Steps beyond the horizon]. Moscow: Progress Publ. 1987. (In Russian)
- Jacques, V. et al. "Experimental realization of Wheeler's delayed-choice gedanken experiment", *Science*, 2007, vol. 315(5814), pp. 966–968.
- Leggett, A. J., Garg, A. "Quantum mechanics versus macroscopic realism: Is the flux there when nobody looks?", *Physical Review Letters*, 1985, vol. 54, no. 9, p. 857.
- Leggett, A. J. "Nonlocal hidden-variable theories and quantum mechanics: An incompatibility theorem", *Foundation of Physics*, 2003, vol. 33(10), pp. 1469–1493.
- Lombardi, O., Castagnino, M. "A modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 2008, vol. 39(2), pp. 380–443.
- Ma, X. et al. "Experimental delayed-choice entanglement swapping", *Nature Physics*, 2012, vol. 8(6), pp. 479–484.
- Ma, X., Kofler, J., Zeilinger, A. "Delayed-choice gedanken experiments and their realizations" [<https://arxiv.org/abs/1407.2930>, accessed on 04.07.2016].
- Manning, A.G. et al. "Wheeler's delayed-choice gedanken experiment with a single atom", *Nature Physics*, 2015, vol. 11, pp. 539–542.
- Merali, Z. "Quantum "spookiness" passes toughest test yet", *Nature*, 2015, no. 525(7567), pp. 14–15.
- Nikulov, A. V. "Could ordinary quantum mechanics be just fine for all practical purposes?", *Quantum Studies: Mathematics and Foundations*, 2016, vol. 3, pp. 41–55.
- Nikulov, A. V. "The quantum mechanics is a non-universal theory. The realistic Schrodinger's and positivistic Born's interpretation of the wave function" [<http://arxiv.org/abs/1311.4760>, accessed on 01.05.2016].
- Pan, J. W. et al. "Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberg–Horne–Zeilinger entanglement", *Nature*, 2000, vol. 403(6769), pp. 515–519.
- Peruzzo, A. et al. "A quantum delayed-choice experiment", *Science*, 2012, vol. 338(6107), pp. 634–637.

Ringbauer, M., Duffus, B., Braciard, C. et al. “Measurements on the reality of the wavefunction”, *Nature Physics*, 2015, no. 11, pp. 249–254.

Robens, C. et al. “Ideal negative measurements in quantum walks disprove theories based on classical trajectories”, *Physical Review X*, 2015, vol. 5(1), p. 011003.

Sevalnicov, A. Yu. *Interpretacii kvantovoy mehaniki: v poiske novoy ontologii* [Interpretations of Quantum Mechanics: In search of a New Ontology]. Moscow: LIBROKOM Publ., 2009. 192 pp. (In Russian)

Schrödinger, E. *Nauka i gumanizm. Fizika v nashe vremja* [Science and Humanism. Physics today]. Izhevsk: NIC RHD Publ., 2001. 64 pp. (In Russian)

Terekhovich, V. E. “Modal’nie podchody v metaphisike i v kvantovoy mehanike” [Modal Approaches in Metaphysics and Quantum Mechanics], *Metaphisika*, 2015, no. 1, pp. 129–152. (In Russian)

Wheeler, J. A. *Quantum Theory and Measurement*, ed. by J.A. Wheeler & W.H. Zurek. USA: Princeton University Press Publ., 1983. 811 pp.

Wigner, E. *Teorija grupp i ejo prilozhenie k kvantovo-mehanicheskoj teorii atomnyh spektrov* [Group Theory and its Application to the Quantum Mechanics of Atomic Spectra]. Moscow: IL Publ., 1961. 444 pp. (In Russian)

Zurek, W. H. “Decoherence and the transition from quantum to classical-revisited”, *Los Alamos Science*, 2002, vol. 27, pp. 86–109.

Zurek, W. H. “Quantum Darwinism”, *Nature Physics*, 2009, vol. 5(3), pp. 181–188.